

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
24. Juli 2003 (24.07.2003)

PCT

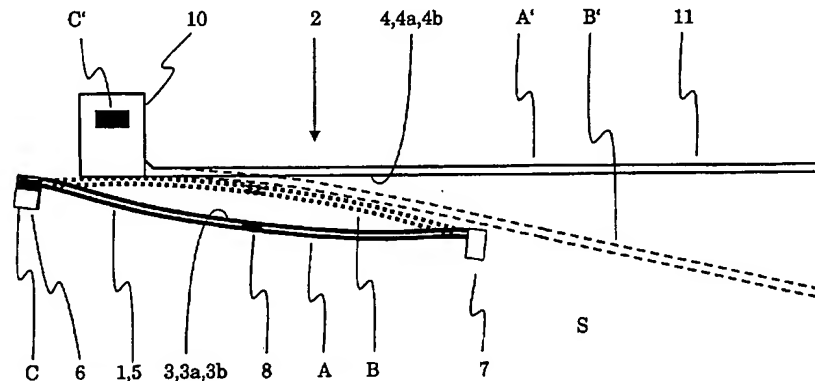
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/060940 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01H 59/00 (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): ABB RESEARCH LTD [CH/CH]; Affolternstrasse
52, CH-8050 Zürich (CH).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH02/00722 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): STRÜMLER, Ralf
[DE/CH]; Oberriedenstr. 35b, CH-5412 Gebenstorf (CH).
- (22) Internationales Anmeldedatum:
23. Dezember 2002 (23.12.2002)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Anwalt: ABB SCHWEIZ AG; Intellectual Property (CH-
LC/IP), Brown Boveri Strasse 6, CH-5400 Baden (CH).
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
- (30) Angaben zur Priorität:
PCT/US02/01662 18. Januar 2002 (18.01.2002) US
02405334.0 24. April 2002 (24.04.2002) EP

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MICRO-ELECTROMECHANICAL SYSTEM AND METHOD FOR PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: MIKRO-ELEKTROMECHANISCHES SYSTEM UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG



(57) **Abstract:** The invention relates to a micro-electromechanical system comprising a substrate (S) and at least two micro-elements (1, 2), of which a first one is a switchable bistable. The micro-elements (1, 2) comprise surfaces (3a, 4a) facing each other, generated by means of a structuring method and with a minimum separation characteristic for the structuring method. The first micro-element (1) is then switched to the other stable state (B), whereupon the separation between the surfaces (3a, 4a) facing each other is smaller than the minimal separation characteristic for the structuring method. The micro-electromechanical system can be embodied as an electrostatically operated micro-switch with improved switching. Laterally and horizontally working micro-electromechanical systems with new functionality and relays with current-free closing can be produced.

(57) **Zusammenfassung:** Ein mikro-elektromechanisches System umfasst ein Substrat (S) und mindestens zwei Mikro-Elemente (1, 2), von denen ein erstes bistabil schaltbar ist. Die Mikro-Elemente (1, 2) weisen einander zugewandte Flächen (3a, 4a) auf, die mittels eines Strukturierungsverfahrens erzeugt sind und dadurch zunächst mindestens einen für das Strukturierungsverfahren charakteristischen Minimalabstand voneinander aufweisen. Dann wird das erste Mikro-Element (1) in den anderen stabilen Zustand (B) geschaltet, wodurch der Abstand zwischen den einander zugewandten Flächen (3a, 4a) kleiner als der für das Strukturierungsverfahren charakteristische Minimalabstand. Das mikroelektromechanische System kann als elektrostatisch betätigbarer Mikros-Schalter mit verbesserter Schaltbarkeit ausgebildet sein. Lateral und horizontal arbeitende mikroelektromechanische Systeme mit neuer Funktionalität und stromlos geschlossene Relais sind realisierbar.

WO 03/060940 A1



MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii) für alle Bestimmungsstaaten

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

*MIKRO-ELEKTROMESCHANISCHES SYSTEM UND
VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG*

B E S C H R E I B U N G

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der mikro-elektromechanischen Systeme, insbesondere

- auf ein Mikro-elektromechanisches System gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 sowie
- auf ein Verfahren zur Herstellung eines mikro-elektromechanischen Systems gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 21.

Stand der Technik

Eine derartiges, den Oberbegriff der Patentansprüche 1 und 21 bildendes mikro-elektromechanischen System (micro electro-mechanical system, MEMS) und ein entsprechendes Verfahren sind beispielsweise aus DE 198 00 189 A1 bekannt. Dort ist ein mikromechanischer Schalter beschrieben, welcher ein flächiges Trägersubstrat, ein auf dem Trägersubstrat festgesetztes Kontaktstück, eine bewegliche Elektrode und eine fest mit dem Trägersubstrat verbunden Gegenelektrode umfasst. Die bewegliche Elektro-

de hat ein freies Ende und ein festes, mit dem Trägersubstrat verbundenes Ende. Die bewegliche Elektrode und die Gegenelektrode weisen einander zugewandte Oberflächen auf. Durch elektrostatische Anziehungskräfte zwischen diesen einander zugewandten Oberflächen kann die bewegliche Elektrode derart gebogen, das heisst elastisch verformt werden, dass sich das freie Ende der beweglichen Elektrode der Gegenelektrode und dadurch auch dem Kontaktstück annähert, bis es zum Kontakt zwischen dem freiem Ende der beweglichen Elektrode und dem Kontaktstück kommt. Die Bewegung des freien Endes der beweglichen Elektrode erfolgt dabei lateral, das heisst parallel zu dem flächigen Trägersubstrat.

Die elektrostatischen Anziehungskräfte zwischen den einander zugewandten Oberflächen der beweglichen Elektrode und der Gegenelektrode wird durch das Anlegen einer Spannung zwischen der beweglichen Elektrode und der Gegenelektrode erzeugt. Um einen Kurzschluss, das heisst einen elektrischen Kontakt zwischen der beweglichen Elektrode und der Gegenelektrode zu vermeiden, sind Stopper in die Gegenelektrode eingebracht, die über die der beweglichen Elektrode zugewandte Oberfläche der Gegenelektrode herausragen und nicht auf demselben Potential liegen wie die Gegenelektrode. Zu demselben Zwecke können auch Federn vorgesehen sein, die auf der der Gegenelektrode abgewandten Seite der beweglichen Elektrode angebracht sind und die Bewegung der beweglichen Elektrode in Richtung der Gegenelektrode einschränken. Zusätzlich kann zu demselben Zwecke auch noch die der Gegenelektrode zugewandte Oberfläche der beweglichen Elektrode mit einer elektrisch isolierenden Schicht versehen sein.

Die elektrostatische Anziehungskraft F zwischen zwei parallelen Oberflächen der Fläche A im Abstand d bei Anlegen einer Schaltspannung U zwischen den beiden Oberflächen ist gegeben durch

$$F = \epsilon_0 \cdot A \cdot U^2 / (2d^2) \quad (1)$$

Die Kraft nimmt also linear mit der Fläche, quadratisch mit der Spannung und umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes zu.

Das In der genannten DE 198 00 189 A1 offenbarte Mikrosystem wurde unter Einsatz eines Siliziumtiefenätzprozesses aus dem Trägersubstrat erzeugt. Dabei wird nach Aufbringen einer Maske auf das Trägersubstrat an den Stellen, an denen die Maske geöffnet ist, Material aus dem Trägersubstrat herausgeätzt. Dadurch entstehenden Gräben oder Ätzkanäle, die mindestens eine für das Ätzverfahren charakteristische minimale Breite haben.

Um eine Beweglichkeit des freien Endes der beweglichen Elektrode zu erreichen, wird ein Opferschichtprozess angewendet, der das freie Ende der beweglichen Elektrode von dem Trägersubstrat trennt. Dazu wird eine im Trägersubstrat unterhalb der beweglichen Teile des mikromechanischen Schalters angeordnete Opferschicht durch einen Ätzprozess selektiv entfernt, wobei die Opferschicht an Stellen, an denen eine Verbindung zum Substrat erwünscht ist, wie an der Gegenelektrode, dem festgesetzten Kontaktstück und dem festen Ende der beweglichen Elektrode, weiterbesteht.

DE 42 05 029 C1 zeigt ein elektrostatisch betriebenes mikro-elektromechanisches Relais, das horizontal arbeitet. Das heisst die Schaltbewegung dieses Relais verläuft im wesentlichen senkrecht zu einem Trägersubstrat. Aus einem Silizium-Substrat wird eine zungenförmige Elektrode mit Kontaktstück freigeätzt. Das Substrat wird dann derart auf ein Gegensubstrat mit einer Gegenelektrode und einem Gegenkontakt aufgebracht, dass die Elektrode mit der Gegenelektrode einen keilförmigen Spalt einschliesst. Durch Anlegen einer Schaltspannung zwischen der Elektrode und der Gegenelektrode sind diese aufeinander zu bewegbar, wodurch eine elektrisch leitende Verbindung zwischen Kontakt und Gegenkontakt erreichen lässt. Grosse Kontaktkräfte sind durch relativ breite Elektroden erreichbar.

In DE 197 36 674 C1 ist ebenfalls ein mikro-elektromechanisches Relais und ein Verfahren zu dessen Herstellung offenbart, das horizontal arbeitet. Ein beweglicher Kontakt ist an einer einseitig an einem Substrat befestigten Ankerzunge angebracht, die im Ruhezustand vom Substrat weggekrümmt ist. Zur Erzeugung einer hohen Kontaktkraft wirkt dieser Kontakt mit einem Festkontakt zusammen, welcher an einer ebenfalls vom Substrat weggekrümmten Federzunge befestigt ist. Die Krümmung der Kontakte wird durch das Aufbringen einer Zugspannungsschicht auf beiden Kontakten realisiert. Das Erreichen einer hohen Reproduzierbarkeit einer derart erzeugten Krümmung der Kontakte und damit der Kontaktabstände im Ruhezustand (geöffnet) ist fertigungstechnisch nicht einfach.

In US 5'638'946 und US 6'057'520 sind weitere horizontal arbeitende MEMS Schalter beschrieben.

J. Qiu et al., "A Centrally-Clamped Parallel-Beam Bistable MEMS Mechanism", Proc. of MEMS 2001, Interlaken, Schweiz, Jan. 20-22, 2001, zeigt einen bistabil schaltbaren mikro-elektromechanischen Mechanismus. Dieser besteht aus zwei parallelen, beidseitig aufgehängten Federzungen oder Membranen, die einen kosinusförmigen Verlauf beschreiben. In der Mitte sind die Federzungen miteinander verbunden, und an ihren Enden sind sie an einem Trägersubstrat festgesetzt. Dieses bistabile Mikro-Element wird mittels Ionentiefätzen und Opferschichttechnologie aus dem Silizium-Trägersubstrat erzeugt, so dass die Federzungen lateral beweglich sind und zwei stabile Zustände aufgewiesen werden. Durch Anwenden einer senkrecht zu den Federzungen und parallel zu dem Trägersubstrat gerichteten Kraft ist der bistabile Mechanismus zwischen den beiden stabilen Zuständen hin- und herschaltbar, wobei die jeweilige zur Anfangsposition spiegelbildliche Endposition durch ein Schnappen des Mechanismus schliesslich selbständig er-

reicht wird. Um einerseits elastische Beweglichkeit und andererseits mechanische Stabilität des Mikro-Elementes zu erreichen, sind die 3 mm langen Federzungen nur 10 μm bis 20 μm breit, aber 480 μm hoch.

Weitere lateral bewegliche mikro-elektromechanische Mechanismen sind in M. Taher, A. Saif, "On a Tunable Bistable MEMS - Theory and Experiment", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 9, 157-170 (Juni 2000) beschrieben.

In US 5'677'823 ist ein elektrostatisch schaltbares bistabiles Speicherelement offenbart, welches horizontal arbeitet. Ein im wesentlichen parallel zu einem Trägersubstrat ausgerichteter, brückenartiger beweglicher Kontakt ist oberhalb von einem fest mit dem Trägersubstrat verbundenem Festkontakt angeordnet. An seinen beiden Enden ist der bewegliche Kontakt an dem Trägersubstrat festgesetzt, während er in seiner Mitte von dem Trägersubstrat weggewölbt (erste stabilen Position) oder in Richtung des Trägersubstrates gewölbt ist (zweite stabile Position). In der zweiten stabilen Position berühren sich der bewegliche Kontakt und der Festkontakt: der Schalter ist geschlossen. In der ersten stabilen Position ist der Schalter geöffnet. Die Bistabilität des Schalters ergibt sich durch mechanische Spannungen, welche bei der Herstellung des Schalters in den beweglichen Kontakt eingebracht werden. Ebenfalls unterhalb des beweglichen Kontaktes sind seitlich neben dem Festkontakt zwei Elektroden angeordnet. Durch Anlegen von elektrischen Spannungen an den beweglichen Kontakt und an diese Elektroden können Kontakt und Elektroden elektrisch aufgeladen werden, so dass sich elektrostatische Anziehungs- oder Abstossungskräfte zwischen diesen ergeben, durch welche der Schalter zwischen den beiden stabilen Positionen hin- und hergeschaltet werden kann.

Ein anderer horizontal arbeitender bistabiler MEMS-Mechanismus ist in Sun et al., "A Bistable Microrelay Based on Two-Segment Multimorph Cantilever Actuators", IEEE Catalog Nr. 98CH36176, beschrieben.

Darstellung der Erfindung

Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, ein mikro-elektomechanisches System (MEMS) der eingangs genannten Art zu schaffen, welches ein flexibleres MEMS-Design ermöglicht. Insbesondere sollen eine verbesserte Schaltbarkeit und neue Funktionalitäten ermöglicht werden. Diese Aufgabe löst ein MEMS mit den Merkmalen des Patentanspruches 1.

Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung von MEMS zu schaffen. Diese Aufgabe löst ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 21.

Verbesserte Schaltbarkeit kann beispielsweise bedeuten, dass ein Schaltvorgang bereits bei geringeren Schaltspannungen auslösbar ist. Neue Funktionalitäten können beispielsweise die Realisierung von spannungslos geschlossenen Anschlüssen oder von Mikro-Relais mit sowohl spannungslos geöffneten wie auch spannungslos geschlossenen Anschlüssen bedeuten.

Das erfindungsgemässe MEMS umfasst ein Substrat sowie ein erstes Mikro-Element und ein zweites Mikro-Element, wobei

- das erste Mikro-Element und das zweite Mikro-Element mit dem Substrat verbunden sind,
- das erste Mikro-Element eine erste Fläche aufweist und das zweite Mikro-Element eine zweite Fläche aufweist, welche Flächen einander zugewandt sind und durch ein Strukturierungsverfahren erzeugt sind,

- das erste Mikro-Element einen Schaltteil beinhaltet, durch den es bistabil zwischen einer Initialposition und einer Arbeitsposition schaltbar ist, und
- der Abstand zwischen der ersten Fläche und der zweiten Fläche in der Arbeitsposition des ersten Mikro-Elementes kleiner als ein durch das Strukturierungsverfahren erzeugbarer Minimalabstand zwischen der ersten Fläche und der zweiten Fläche ist.

Es wird also ein erstes, zwischen den zwei stabilen Positionen Initialposition und Arbeitsposition schaltbares Mikro-Element derart in Verbindung mit einem zweiten Mikro-Element eingesetzt, dass das erste Mikro-Element nach Umschalten von der Initialposition in die Arbeitsposition einen geringeren Abstand zu dem zweiten Mikro-Element aufweist als in der Initialposition. Beide Mikro-Elemente sind mit dem Substrat verbunden und unter Einsatz eines Strukturierungsverfahrens erzeugt. Der genannte geringere Abstand in der Arbeitsposition ist erfindungsgemäss kleiner als ein für das Strukturierungsverfahren charakteristischer Minimalabstand zwischen den zwei Mikro-Elementen.

Auf diese Weise wird erreicht, dass neue Freiheitsgrade bei dem Design von MEMS gewonnen werden, da prozesstechnisch vorgegebene Randbedingungen überwunden werden. Verschiedenste Mikro-Aktoren können neu oder einfacher oder in verbesserter Form realisiert werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Erfindungsgegenstandes weist das zweite Mikro-Element ein mit dem Substrat fest verbundenes erstes festes Ende sowie einen beweglichen Teil auf, wobei in der Arbeitsposition des ersten Mikro-Elementes der bewegliche Teil des zweiten Mikro-Elementes durch elektrostatische Kräfte zwischen dem ersten Mikro-Element und dem zweiten Mikro-Element von einer Ausschaltposition in eine Einschaltposition bewegbar ist, und wobei die beiden Mikro-Elemente im Bereich der Stelle, an

der der genannte geringere Abstand zwischen den beiden Mikro-Elementen vorliegt, Berührungsstellen aufweisen und elektrisch nichtleitend ausgebildet sind. Dass Berührungsstellen vorliegen heisst, dass der genannte geringere Abstand null beträgt.

Somit wird es ermöglicht, elektrostatisch arbeitende Aktoren herzustellen, deren elektrostatisch schaltbare Elektroden (Elektrode und Gegenelektrode) einander berühren. Die dadurch erreichten kleinen oder verschwindenden Elektrodenabstände haben eine verbesserte Schaltbarkeit zur Konsequenz. Ein Schalten des Aktors bei sehr geringen Schaltspannungen ist möglich.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Erfindungsgegenstandes ist zusätzlich das erste Mikro-Element derart ausgebildet, dass es eine angepasste Gegenelektrode beinhaltet, die der Form des zweiten Mikro-Elementes angepasst ist: Die angepasste Gegenelektrode ist derart geformt, dass sich in der Einschaltposition des zweiten Mikro-Elementes die angepasste Gegenelektrode und das zweite Mikro-Element im Bereich der genannten Berührungsstellen grössflächig überlappen. In der Einschaltposition des zweiten Mikro-Elementes schmiegen sich also die angepasste Gegenelektrode und das zweite Mikro-Element aneinander an. Dadurch wird eine Maximierung der Flächen erreicht, zwischen denen die elektrostatischen Anziehungskräfte wirken, was grössere elektrostatischen Anziehungskräfte und somit eine verbesserte Schaltbarkeit zur Folge hat. Ein Schalten des Aktors bei sehr geringen Schaltspannungen wird ermöglicht.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform umfasst die genannte angepasste Gegenelektrode zusätzlich einen zweiten Abschnitt, der gegenüber dem sich an das zweite Mikro-Element anschmiegenden Abschnitt der Gegenelektrode stufenförmig zurückversetzt ist. In der Einschaltposition des zweiten Mikro-Elementes schliessen dabei dieser zweite Abschnitt der ange-

passten Gegenelektrode und das zweite Mikro-Element einen Spalt ein. Auf diese Weise kann eine Kraft, die das zweite Mikro-Element in seiner Einschaltposition auszuüben vermag, massgeschneidert und sehr gross gewählt werden, indem die Länge, Breite und Höhe des Spaltes entsprechend dimensioniert wird. Die auf diese Weise gross wählbare Kraft kann beispielsweise eine Kontaktkraft des zweiten Mikro-Elementes auf ein oder zwei elektrische Kontakte sein, die das zweite Mikro-Element in seiner Einschaltposition kontaktiert, wodurch ein sicherer elektrischer Kontakt herstellen lässt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird ein Wechselschaltrelais realisiert.

In anderen vorteilhaften Ausführungsformen des Erfindungsgegenstandes werden Relais oder Wechselschaltrelais mit spannungslos geschlossenen Anschlüssen realisiert.

Insbesondere ist bei einer bevorzugten Ausführungsform der bewegliche Teil des zweiten Mikro-Elementes durch Schalten des ersten Mikro-Elementes von der Initialposition in die Arbeitsposition elastisch verformbar. Dadurch ist es möglich, spannungslos geschlossene Anschlüsse zu realisieren.

Das erfindungsgemässe Verfahren beinhaltet nach der Strukturierung zweier Mikro-Elemente mit einander zugewandten Flächen das Umschalten des bistabil schaltbaren Mikro-Elementes. Dadurch können neue oder verbesserte MEMS, wie die oben genannten, hergestellt werden.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen gehen aus den abhängigen Patentansprüchen und den Figuren hervor.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Im folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen MEMS mit kosinusförmigem bistabilen Element, in Aufsicht;
- Fig. 2 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen MEMS mit schwingungsbauchförmigem bistabilen Element, in Aufsicht;
- Fig. 3 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen MEMS mit kosinusförmigem bistabilen Element und angepasster Gegenelektrode, in Aufsicht;
- Fig. 4 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Mikro-Relais mit kosinusförmigem bistabilen Element und angepasster Gegenelektrode, in Aufsicht;
- Fig. 5 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Mikro-Wechselschalt-Relais mit zwei kosinusförmigen bistabilen Elementen und angepasster Gegenelektrode, in Aufsicht;
- Fig. 6 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Mikro-Relais mit kosinusförmigem bistabilen Element und gestufter Gegenelektrode, in Aufsicht;
- Fig. 7 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Mikro-Relais mit kosinusförmigem bistabilen Element und gestufter Gegenelektrode und zweiteiligem beweglichen Teil des zweiten Mikro-Elementes, in Aufsicht;
- Fig. 8 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Wechselschalt-Relais mit monostabilem zweiten Mikro-Element und NO- und NC-Anschlüssen, in Aufsicht;

- Fig. 9 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Wechselschalt-Relais mit bistabilem zweiten Mikro-Element und NO- und NC-Anschlüssen, in Aufsicht;
- Fig. 10a eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Mikro-Relais mit NC-Anschluss, Zustand: erstes Mikro-Element in Initialposition; in Aufsicht;
- Fig. 10b eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Mikro-Relais mit NC-Anschluss, Zustand: erstes Mikro-Element in Arbeitsposition, zweites Mikro-Element in Ausschaltposition; in Aufsicht;
- Fig. 10c eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Mikro-Relais mit NC-Anschluss, Zustand: erstes Mikro-Element in Arbeitsposition, zweites Mikro-Element in Einschaltposition; in Aufsicht;
- Fig. 11a eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen horizontal arbeitenden Mikro-Relais mit NC-Anschluss, geschnittene Seitenansicht;
- Fig. 11b eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen horizontal arbeitenden Mikro-Relais mit NC-Anschluss, in Aufsicht;

Die in den Zeichnungen verwendeten Bezugszeichen und deren Bedeutung sind in der Bezugszeichenliste zusammengefasst aufgelistet. Grundsätzlich sind in den Figuren gleichwirkende Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Fig. 1 zeigt eine schematische Aufsicht auf ein erstes erfindungsgemässes mikro-elektromechanisches System (MEMS). Es umfasst ein erstes Mi-

kro-Element 1 und ein zweites Mikro-Element 2, welche beide starr mit einem Substrat S verbunden sind.

Das Substrat S ist eine Scheibe (Wafer) aus einkristallinem Silizium, bei der eine der zwei grössten Oberflächen eine Hauptfläche des Substrates bildet. In Fig. 1 liegt diese Hauptfläche in der Papierebene. Unter Einsatz von Iontiefätzen (DRIE, dry reactive ion etching) und Opferschichttechnologie wurden das erste Mikro-Element 1 und das zweite Mikro-Element 2 aus dem Substrat S geformt.

Das Strukturierungsverfahren DRIE hat die Eigenschaft, ein materialabtragendes Verfahren zu sein; es ist ein Ätzverfahren. Es hat weiter die Eigenschaft, gut zur Erzeugung schmaler und doch tiefer Kanäle, Spalten oder Gräben geeignet zu sein, wodurch dem DRIE eine Vorzugsrichtung zugesprochen werden kann, welche die Richtung des bevorzugten Materialabtrages angibt und somit senkrecht zur Hauptfläche des Substrates liegt. Senkrecht wiederum zu dieser Vorzugsrichtung ist die Breite eines mittels DRIE erzeugten Grabens nach unten, also zu schmalen Gräben, begrenzt. Das heisst, dass es eine durch das Strukturierungsverfahren (beispielsweise DRIE) gegebene minimale erzeugbare Grabenbreite gibt. Für die zwei Flächen, welche die seitlichen Begrenzungen eines solchen Grabens bilden, gibt es somit einen Minimalabstand. Details, wie mittels Iontiefätzen und Opferschichttechnologie die Mikro-Elemente 1,2 aus dem Substrat geformt werden können, ist dem Fachmann bekannt und können beispielsweise auch der genannten Offenlegungsschrift DE 198 00 189 A1 entnommen werden, die hierdurch mit ihrem gesamten Offenbarungsgehalt in die Beschreibung aufgenommen wird.

Mittels DRIE erzeugte Mikro-Elemente haben typischerweise Seitenflächen, die fast senkrecht zu der Hauptfläche des Substrates S ausgerichtet sind,

oder anders ausgedrückt: (Lokale) Flächennormalenvektoren der Seitenflächen verlaufen praktisch parallel zur Hauptfläche des Substrates S. Derartige Mikro-Elemente besitzen somit im wesentlichen die Form eines geraden (rechtwinkligen) Prismas, deren Grundfläche parallel zu der Hauptfläche des Substrates S ausgerichtet ist. Zudem ist typischerweise die Höhe eines solchen Mikro-Elementes (senkrecht zur Hauptfläche) sehr gross gegenüber der (schmalsten) Breite eines solchen Mikro-Elementes. Das erste Mikro-Element und das zweite Mikro-Element sind von dieser Art.

Das erste Mikro-Element 1 ist als ein bistabil elastischer MEMS-Mechanismus ausgebildet, wie er in der genannten Publikation J. Qiu et al., "A Centrally-Clamped Parallel-Beam Bistable MEMS Mechanism", Proc. of MEMS 2001, Interlaken, Schweiz, Jan. 20-22, 2001, beschrieben ist. Details zu Ausgestaltungsformen, Eigenschaften und zur Herstellung eines derartigen Mikro-Elementes können dieser Publikation entnommen werden, welche hierdurch mit ihrem gesamten Offenbarungsgehalt in die Beschreibung aufgenommen wird. Das erste Mikro-Element 1 ist an einem ersten Ende 6 und einem zweiten Ende 7 auf dem Substrat S festgesetzt. Dazwischen weist das erste Mikro-Element 1 zwei parallel verlaufende, kosinusförmig gekrümmte Federzungen auf, die in der Mitte 8 zwischen den beiden Enden 6,7 miteinander verbunden sind. In Anbetracht ihrer geringen Breite und ihrer grossen Höhe (senkrecht zur Substrat-Hauptfläche) kann man diese Federzungen auch als parallele Membrane auffassen.

Das erste Mikro-Element 1 ist bistabil zwischen einer Initialposition A und einer Arbeitsposition B schaltbar (letztere in Fig. 1 gestrichelt dargestellt). Das heisst, das Mikro-Element 1 weist zwei mechanisch stabile Zustände oder Positionen A und B auf, zwischen denen es unter Aufbringung einer lateralen, also substratparallelen Kraft hin- und herbewegbar ist; die Bewegung findet dabei im wesentlichen lateral statt. Eventuelle Zwischenpositio-

nen sind nicht stabil, sondern führen selbständig zu einem raschen Übergang in einen der zwei stabile Zustände A oder B. Der Übergang erfolgt durch vorzugsweise elastische Verformung des ersten Mikro-Elementes 1. Das erste Mikro-Element 1 besteht hier also lediglich aus einem Schaltteil 5, durch welchen es bistabil schaltbar ist.

Das erste Mikro-Element 1 weist auf der dem zweiten Mikro-Element 2 zugewandten Seite eine mittels DRIE geformte Seitenfläche auf, die als erste Fläche 3a bezeichnet wird. Diese erste Fläche 3a weist eine erste Beschichtung 3b auf, welche elektrisch isolierend ist und deren äussere, also von der ersten Fläche 3a abgewandte Oberfläche die erste Oberfläche 3 des ersten Mikro-Elementes 1 bildet. Die erste Beschichtung 3b wird typischerweise durch Oxidation des Siliziums erzeugt.

Das zweite Mikro-Element 2 umfasst ein erstes festes Ende 10 auf, an dem es auf dem Substrat S festgesetzt ist, und einen beweglichen Teil 11; es ist dem ersten Mikro-Element 1 benachbart angeordnet. Auf derjenigen Seite des zweiten Mikro-Elementes, die dem ersten Mikro-Element 1 zugewandt ist, weist das zweite Mikro-Element 2 eine mittels DRIE geformte Seitenfläche auf, die als zweite Fläche 4a bezeichnet wird. Diese zweite Fläche 4a weist eine zweite Beschichtung 4b auf, welche elektrisch isolierend ist und deren äussere, also von der zweiten Fläche 4a abgewandte Oberfläche die zweite Oberfläche 4 des zweiten Mikro-Elementes 2 bildet. Die erste Oberfläche 3 und die zweite Oberfläche 4 sind einander zugewandte Oberflächen, wie auch die erste Fläche 3a und die zweite Fläche 4a einander zugewandt sind. Die zweite Beschichtung 4b wird ebenfalls typischerweise durch Oxidation des Siliziums erzeugt.

Nach der Formung der ersten Fläche 3a und der zweiten Fläche 4a mittels DRIE befindet sich das erste Mikro-Element 1 in der Initialposition A und das

zweite Mikro-Element 2 in einer Ausschaltposition A'. Da die Flächen 3a und 4a mittels DRIE geformt sind, haben sie einen Abstand voneinander, der mindestens so gross ist wie ein durch DRIE gegebener Minimalabstand. Mit dem Abstand der Flächen voneinander ist der Abstand gemeint, den solche zwei Punkte voneinander haben, die einander am nächsten liegen, wobei der eine Punkt auf der ersten Fläche 3a und der andere Punkt auf der zweiten Fläche 4a liegt. Der Abstand ist also die Breite des Grabens zwischen der ersten Fläche 3a und der zweiten Fläche 4a an seiner engsten Stelle. In Fig. 1 ist diese Stelle an einer Ecke des ersten festen Endes 10 des zweiten Mikro-Elementes 2 und nahe dem ersten Ende 6 des ersten Mikro-Elementes 1 an der Membran des ersten Mikro-Elementes 1, die die erste Fläche 3a aufweist.

Die Initialposition A des ersten Mikro-Elementes 1 ist eine herstellungsbedingte Anfangsposition. Die Anordnung des ersten Mikro-Elementes 1 und des zweiten Mikro-Elementes 2 ist derart gewählt, dass nach einem Umschalten des ersten Mikro-Elementes 1 von der Initialposition A in die Arbeitsposition B der Abstand der ersten Fläche 3a von der zweiten Fläche 4a kleiner ist als der genannte, durch das Herstellungsverfahren (beispielsweise DRIE) gegebene Minimalabstand. Bei dem MEMS in Fig. 1 ist der Abstand sogar null, das heisst, in der Arbeitsposition A berühren sich das erste Mikro-Element 1 und das zweite Mikro-Element 2. In der Arbeitsposition A kann ein bestimmungsgemässes Zusammenwirken des ersten Mikro-Elementes 1 mit dem zweiten Mikro-Element 2 innerhalb des MEMS stattfinden.

Das MEMS in Fig. 1 stellt einen Mikro-Aktor dar, der von dem ersten Mikro-Element 1 und dem zweiten Mikro-Element 2, zusammen mit dem Substrat S gebildet wird. Dabei wirkt das zweite Mikro-Element 2 als eine bewegliche, elektrostatisch schaltbare Elektrode und das bistabil schaltbare erste Mikro-Element 1 als eine dazugehörige elektrostatische Gegenelektrode. Das erste Mikro-Element 1 befindet sich in der Arbeitsposition A.

Die Funktionsweise des Mikro-Aktors, wenn er in der Arbeitsposition B ist, ist im wesentlichen aus dem Stand der Technik bekannt: An dem ersten festen Ende 6 des ersten Mikro-Elementes 1 ist eine Kontaktierungselektrode C, und an dem ersten festen Ende 10 des zweiten Mikro-Elementes 2 ist eine Kontaktierungselektrode C' vorgesehen. Diese Kontaktierungselektroden C, C' dienen zum Anlegen von Schaltspannungen an die Mikro-Elemente 1, 2, durch welche sich die Mikro-Elemente elektrostatisch aufladen, so dass elektrostatische Kräfte zwischen den Mikro-Elementen 1 und 2 wirken. Dafür muss das Material, aus dem die Mikro-Elemente gemacht sind, ausreichend leitfähig sein, was beispielsweise durch entsprechende Dotierung des Siliziums erreicht wird. Durch die elektrostatischen Kräfte zwischen den Mikro-Elementen (genauer: zwischen der ersten Oberfläche 3 und der zweiten Oberfläche 4) ist der bewegliche Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 von der Ausschaltposition A' in eine Einschaltposition B' des zweiten Mikroelementes 2 bewegbar. Die Einschaltposition B' ist in Fig. 1 gestrichelt dargestellt. In dem MEMS in Fig. 1 ist eine entgegengesetzte Aufladung der Mikro-Elemente 1, 2 und damit eine anziehende elektrostatische Kraft vorgesehen. Zum Zurückschalten des zweiten Mikro-Elementes 2 in die Ausschaltposition A' werden die Ladungen der Mikro-Elemente 1, 2 abgebaut. Dass keine unerwünschten Entladungen stattfinden, insbesondere, wenn sich die Mikro-Elemente 1, 2 berühren, wird durch die nichtleitenden Beschichtungen 3b, 4b erreicht.

Wie Gleichung (1) entnommen werden kann, nimmt die elektrostatische Kraft umgekehrt proportional zum Abstand ab. Das erfindungsgemässe MEMS aus Fig. 1 hat somit den grossen Vorteil, schon mit kleineren Schaltspannungen schaltbar zu sein als sie für ein MEMS benötigt würden, dessen Abstand zwischen Elektrode und Gegenelektrode grösser oder gleich dem durch das Strukturierungsverfahren gegebenen Minimalabstand ist.

Der Mikro-Aktor in Fig. 1 kann beispielsweise als optischer Mikro-Schalter eingesetzt werden, indem ein zu schaltender Lichtstrahl durchgelassen oder durch den beweglichen Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 unterbrochen wird, je nachdem, ob sich das zweite Mikro-Element 2 in der Ausschaltposition A' oder in der Einschaltposition B' befindet. Ebenso gut ist auch das Umlenken eines Lichtstrahls mit dem Mikro-Aktor in Fig. 1 möglich, beispielsweise wenn in dem beweglichen Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 ein reflektierender Bereich angeordnet ist (nicht dargestellt). Die Einschaltposition B' liegt per definitionem dann vor, wenn geeignete Schaltspannungen anliegen; anderenfalls liegt der Ausschaltposition A' vor.

Das bistabil schaltbare erste Mikro-Element 1 wird als eine elektrostatische Elektrode oder Gegenelektrode eingesetzt.

Die Ausführungsform in Fig. 1 wurde sehr ausführlich beschrieben. Aus Gründen der Klarheit und Übersichtlichkeit werden im folgenden einige der bereits erwähnten Details der Funktionsweise der erfindungsgemässen MEMS, die dem Fachmann nunmehr klar geworden sein sollten, nicht mehr extra erwähnt.

Fig. 2 zeigt ein MEMS, das weitgehend dem MEMS aus Fig. 1 entspricht; allerdings ist das erste Mikro-Element 1 anders aufgebaut. Das erste Mikro-Element 1 ist hier als ein anderer lateral, bistabil und vorzugsweise elastisch schaltbarer Mechanismus ausgebildet. Das erste Mikro-Element 1 ist auch hier an einem ersten Ende 6 und einem zweiten Ende 7 auf dem Substrat S festgesetzt. Dazwischen weist das erste Mikro-Element 1 aber einen gekrümmten Federzungen auf, der die Form eines Schwingungsbauches aufweist. In Anbetracht seiner geringen Breite und seiner grossen Höhe (senkrecht zur

Substrat-Hauptfläche) kann man diese Federzunge ebenfalls als eine Membran bezeichnen.

In der Initialposition A, also in dem Zustand, in welchem das erste Mikro-Element 1 strukturiert wird, beschreibt das erste Mikro-Element 1 einen symmetrischen Schwingungsbauch, in der Arbeitsposition B einen asymmetrischen Schwingungsbauch (letzterer in Fig. 2 gestrichelt gezeichnet). Der asymmetrische Schwingungsbauch stellt die zweite stabile Position des ersten Mikro-Elementes 1 dar und kommt dadurch zustande, dass ein mit dem Substrat S fest verbundener Anschlag das erste Mikro-Element 1 in der Arbeitsposition B berührt und zu der entsprechenden Verformung des ersten Mikro-Elementes 1 führt. Dieser Anschlag wird hier durch ein entsprechend ausgebildetes und angeordnetes erstes festes Ende 10 des zweiten Mikro-Elementes 2 gebildet. Der entsprechende Berührungspunkt liegt zweckmässigerweise rechts von einer Verbindungsstrecke, die von dem zweiten Ende 7 zu dem ersten Ende 6 des ersten Mikro-Elementes 1 verläuft, wenn der symmetrische Schwingungsbauch in der Initialposition A links von dieser Verbindungsstrecke angeordnet ist. Der Wert einer parallel zu dieser Verbindungsstrecke geführten Lagekoordinate des Berührungspunktes beträgt nicht 0.5 (kein asymmetrischer Schwingungsbauch) und liegt vorzugsweise zwischen 0.52 und 0.92 der Länge der Verbindungsstrecke; er beträgt hier etwa 0.84. Der Anschlag kann auch durch ein entsprechend geformtes erstes Ende 6 oder zweites Ende 7 des ersten Mikro-Elementes 1 gebildet werden oder als ein separat auf dem Substrat S feststehender Anschlag (welcher dann als zum ersten Mikro-Element 1 gehörig zu betrachten ist).

Wie bei der Ausführungsform von Fig. 1 wird das bistabile Mikro-Element 1 in der Initialposition A erzeugt (strukturiert), wobei der Abstand zwischen ersten Mikro-Element 1 und dem zweiten Mikro-Element 2 mindestens so gross ist wie ein durch das Strukturierungsverfahren gegebener Minimalab-

stand (zwischen diesen Mikro-Elementen 1,2). Noch im Rahmen der Herstellung des MEMS wird nach Aufbringen von Beschichtungen 3b,4b das erste Mikro-Element 1 von der Initialposition A. in die Arbeitsposition B geschaltet, wobei in der Arbeitsposition B der Abstand zwischen den beiden Mikro-Elementen 1,2 kleiner ist als der genannte Minimalabstand. In dem MEMS werden also zwei Mikro-Elemente mit einem durch das Strukturierungsverfahren nicht herstellbar kleinem Abstand voneinander realisiert (durch Ausnutzen der bistabilen Schaltbarkeit eines der Mikro-Elemente). Für weitere Details zu der Ausführungsform von Fig. 2 wird auf das im Zusammenhang mit Fig. 1 geschriebene verwiesen.

Fig. 3 zeigt ein erfindungsgemässes MEMS, das weitgehend dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel entspricht; allerdings besteht hier das erste Mikro-Element 1 nicht nur aus einem Schaltteil 5, sondern umfasst zusätzlich noch eine Elektrode 9. Die Elektrode 9 weist einen länglichen Teil auf, der die erste Fläche 3a, die erste Beschichtung 3b und die erste Oberfläche 3 des ersten Mikro-Elementes 1 beinhaltet. Dieser Teil ist mittels eines weiteren länglichen Teiles, welcher etwa senkrecht zu dem genannten ausgerichtet ist, mit dem Schaltteil 5 in der Mitte 8 zwischen den Enden 6,7 des ersten Mikro-Elementes 1 verbunden.

Da die Elektrode 9 an dem Schaltteil 5 befestigt ist, bewegt sie sich mit dem Schaltteil 5 mit, wenn von der Initialposition A zur Arbeitsposition B (und ggf. wieder zurück) geschaltet wird. Werden durch Anlegen geeigneter Schaltspannungen elektrostatische Anziehungskräfte zwischen dem ersten Mikro-Element 1 (natürlich in der Arbeitsposition A) und dem zweiten Mikro-Element 2 erzeugt, so wird der bewegliche Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 elastisch verformt und nähert sich der Elektrode 9: Es wird von der Ausschaltposition A' in die Einschaltposition B' geschaltet. Die Form der Elektrode 9, und insbesondere die Form der ersten Oberfläche 3, ist vor-

zugsweise derart geformt, dass sich die erste Oberfläche 3 und die zweite Oberfläche 4 in der Einschaltposition vollflächig berühren. Das heisst, dass es eine flächenhafte Berührung zwischen den beiden Oberflächen 3,4 gibt, was nicht bedeutet, dass sich die beiden Oberflächen 3,4 vollständig berühren müssen. Die erste Oberfläche 3 ist also an die Form der zweiten Oberfläche 4 in der Einschaltposition angepasst. Die beiden Oberflächen 3,4 sind in der Einschaltposition B' aneinander angeschmiegt. Man kann eine solche Elektrode 9 als eine angepasste Elektrode 9 bezeichnen. Durch die angepasste Elektrode 9 wird die für die elektrostatischen Kräfte wirksame Fläche maximiert und die wirksamen Abstände minimiert. Folglich kann schon bei geringen Schaltspannungen geschaltet werden. Für weitere Details zu der Ausführungsform von Fig. 3 wird auf das im Zusammenhang mit Fig. 1 geschriebene verwiesen.

Fig. 4 zeigt ein MEMS, das ein Mikro-Relais darstellt. Das Ausführungsbeispiel entspricht weitgehend dem vom Fig. 3. Es umfasst ebenfalls eine (angepasste) Elektrode 9 und ein kosinusförmig ausgebildetes bistabil elastisch schaltbares Mikro-Element 1. Zusätzlich weist das zweite Mikro-Element 2, oder genauer: der bewegliche Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2, einen Kontaktbereich 16 auf, der elektrisch leitfähig ist. Vorzugsweise ist der Kontaktbereich 16 im Bereich desjenigen Endes des beweglichen Teils 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 angeordnet, das nicht an das erste feste Ende 10 des zweiten Mikro-Elementes 2 grenzt. Der Kontaktbereich 16 bildet einen Teil einer Seitenfläche des zweiten Mikro-Elementes 2 und ist vorzugsweise als eine Beschichtung ausgebildet, die mittels Aufdampf- oder Sputter-Techniken auf das zweite Mikro-Element 2 aufgebracht wird.

Weiter umfasst das MEMS noch zwei auf dem Substrat S festgesetzte, elektrisch leitfähige Fixkontakte 17,18. Die Anordnung der Fixkontakte 17,18 und des Kontaktbereichs 16 ist derart gewählt, dass bei Anliegen geeigneter

Schaltspannungen an dem ersten Mikro-Element 1 und dem zweiten Mikro-Element 2 (also in der Einschaltposition B' des zweiten Mikro-Elementes 2) der Kontaktbereich 16 eine elektrisch leitende Verbindung zwischen dem Fixkontakt 17 und dem Fixkontakt 18 erzeugt. Im Ausschaltzustand A' ist dies nicht der Fall. Es liegt also ein elektrostatisches Mikro-Relais vor, durch welches mittels der Schaltspannungen ein von den Fixkontakten 17,18 gebildeter Anschluss geschaltet werden kann.

Sehr vorteilhaft an dieser, aber auch an den weiter unten diskutierten Ausführungsformen ist, dass der Abstand im geöffneten Zustand zwischen dem Kontaktbereich 16 des zweiten Mikro-Elementes 2 und den Fixkontakten 17,18 wählbar ist und fertigungstechnisch sehr gut reproduzierbar ist.

Der Kontaktbereich 16 ist in Fig. 4 auf derjenigen Seite des zweiten Mikro-Elementes 2 angeordnet, die dem ersten Mikro-Element 1 zugewandt ist, also auf der Seite, die auch die Oberfläche 4 beinhaltet. Durch attraktive elektrostatische Kräfte zwischen dem ersten Mikro-Element 1 und dem zweiten Mikro-Element 2 ist ein elektrischer Kontakt zwischen den Fixkontakten 17,18 bewirkbar.

Es ist auch möglich (nicht dargestellt), die Fixkontakte 17,18 so anzuordnen, dass sie sich in demjenigen Bereich des Substrates S befinden, der auf der dem ersten Mikro-Element 1 abgewandten Seite des zweiten Mikro-Elementes 2 liegt. Der Kontaktbereich 16 wird dann entsprechend auf derjenigen Seite des beweglichen Teils 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 angeordnet, die dem ersten Mikro-Element 1 abgewandt ist. Derart aufgebaut kann das Relais mittels abstossender elektrostatischer Kräfte geschaltet werden. Selbstverständlich ist es auch möglich, dieses Mikro-Relais oder das in Fig. 4 abgebildete Mikro-Relais ohne (angepasste) Elektrode 9 aufzubauen (analog zu dem Aufbau in Fig. 1).

Fig. 5 zeigt ein erfindungsgemässes Mikro-Wechselschalt-Relais. Es beinhaltet alle Merkmale eines solchen MEMS, wie es im Zusammenhang mit Fig. 4 beschrieben wurde. Darüber hinaus umfasst das MEMS aber noch ein drittes Mikro-Element 1' und zwei weitere Fixkontakte 17',18'; und das zweite Mikro-Element 2 weist einen weiteren elektrisch leitfähigen Kontaktbereich 16' auf, welcher auf einer Seite des beweglichen Teils 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 angeordnet ist, die der Seite gegenüberliegt, die den Kontaktbereich 16 aufweist. Das dritte Mikro-Element 1' und die weiteren Fixkontakte 17',18' sind bezüglich des länglich ausgebildeten beweglichen Teils 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 spiegelbildlich angeordnet zu dem ersten Mikro-Element 1 und den Fixkontakten 17,18. Natürlich muss die Anordnung nicht genau spiegelbildlich sein; es genügt, wenn das dritte Mikro-Element 1' in einem Bereich des Substrates S mit dem Substrat verbunden ist, der auf der dem ersten Mikro-Element 1 abgewandten Seite des zweiten Mikro-Elementes (2) liegt und die weiteren Fixkontakte 17',18' in einem Bereich des Substrates S mit dem Substrat verbunden sind, der auf der den Fixkontakten 17,18 abgewandten Seite des zweiten Mikro-Elementes 2 liegt. Der Aufbau des dritten Mikro-Elementes 1' entspricht dem Aufbau des ersten Mikro-Elementes 1. Die weiteren Fixkontakte 17',18' sind gleichartig ausgebildet wie die Fixkontakte 17,18.

Das Zusammenwirken zwischen dem dritten Mikro-Element 1' und dem zweiten Mikro-Element (2) und den weiteren Fixkontakten (17',18') entspricht dem oben beschriebenen Zusammenwirken zwischen dem ersten Mikro-Element 1 und dem zweiten Mikro-Element 2 und den Fixkontakten 17,18. Bei Anliegen geeigneter Schaltspannungen an dem dritten Mikro-Element 1' und dem zweiten Mikro-Element 2 kann eine elektrisch leitende Verbindung zwischen den weiteren Fixkontakten 17',18' durch den weiteren Kontaktbereich 16' geschaffen werden. Somit liegt mit diesem Ausführungsbeispiel ein

Drei-Positionen-Schalter oder ein Wechselschaltrelais vor, das drei definierte Zustände hat: (1.) Kontakte zwischen beiden Fixkontaktpaaren 17,18;17',18' offen, (2.) Kontakte zwischen den weiteren Fixkontakten 17',18' offen und Kontakte zwischen den Fixkontakten 17,18 geschlossen und (3.) Kontakte zwischen den Fixkontakten 17,18 offen und Kontakte zwischen den weiteren Fixkontakten 17',18' geschlossen.

Fig. 6 zeigt ein weiteres erfindungsgemässes MEMS, welches weitgehend dem MEMS aus Fig. 4 entspricht. Es enthält die Merkmale des MEMS aus Fig. 4, wofür auf den entsprechenden Teil der Beschreibung verwiesen wird. Allerdings ist die Elektrode 9 des ersten Mikro-Elementes 1 hier speziell ausgebildet. Die Elektrode 9 weist eine (optional stufenförmige) Ausnehmung auf. Die Elektrode 9 umfasst eine spaltbildende Oberfläche 12, welche gegenüber der ersten Oberfläche 3 des ersten Mikro-Elementes 1 stufenförmig zurückversetzt ist. Man kann diese Elektrode 9 als eine gestufte Elektrode 9 bezeichnen. Bei diesem MEMS werden attraktive elektrostatische Kräfte zum Schalten von der Ausschaltposition A' in die Einschaltposition B' eingesetzt. Befindet sich das erste Mikro-Element 1 in der Arbeitsposition B und das zweite Mikro-Element 2 in der Einschaltposition B', so schliessen die spaltbildende Oberfläche 12 und das zweite Mikro-Element 2, oder genauer: der bewegliche Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2, einen Spalt 13 ein. Dadurch kann die Grösse einer Kontaktkraft, die von dem zweiten Mikro-Element 2 auf die Fixkontakte 17,18 ausgeübt wird, gewählt werden. Insbesondere kann dadurch ein sehr guter, sicherer Kontakt und eine grosse Kontaktkraft erreicht werden. Die Wahl der Geometrie des Spaltes erlaubt eine gezielte Vorausbestimmung und Wahl der Kontaktkraft. Insbesondere kann zu diesem Zweck die Länge des Spaltes und die Breite des Spaltes (also der Abstand zwischen beweglichen Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 und der spaltbildenden Oberfläche 12) sowie gegebenenfalls des Verlaufs der Breite des Spaltes gewählt werden. Typischerweise ist die Länge des Spaltes

um etwa eine Grössenordnung, vorzugsweise um etwa zwei Grössenordnungen grösser als die Breite des Spaltes. Vorteilhaft wird ein (etwa) gleichmässig breiter Spalt gewählt, und die erste Oberfläche 3 berührt die zweite Oberfläche 4 vollflächig. Die relative Anordnung der Mikro-Elemente 1,2 und der Fixkontakte 17,18 auf dem Substrat hat sorgfältig zu erfolgen.

Weiterhin hat ein solches MEMS den Vorteil, dass eventuell auftretende Probleme beim Schalten von der Einschaltposition B' in die Ausschaltposition A', die durch ein langsames oder schlechtes Ablösen des beweglichen Teils 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 von der Elektrode 9 (das heisst genauer: von der ersten Oberfläche 3) beispielsweise aufgrund von Oberflächeneffekten auftreten können, verringert werden können. Der (Luft-) Spalt 13 erlaubt ein rasches Ablösen des beweglichen Teils 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 von der Elektrode 9 beim Schalten von der Einschaltposition B' in die Ausschaltposition A', während trotzdem in der Einschaltposition B' grosse elektrostatische Anziehungskräfte zwischen dem ersten Mikro-Element 1 und dem zweiten Mikro-Element 2 wirken, wenn die Spaltbreite entsprechend gering gewählt wurde.

In Fig. 7 ist eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Sie entspricht weitgehend der in Fig. 6 dargestellten Ausführungsform und wird ausgehend davon beschrieben. Der bewegliche Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 ist hier speziell ausgebildet. Er weist einen ersten Bereich 14 und einen zweiten Bereich 15 auf, wobei der erste Bereich 14 weniger steif, also leichter verformbar, ausgebildet ist als der zweite Bereich 15. Und der erste Bereich ist zwischen dem festen ersten Ende 10 des zweiten Mikro-Elementes 2 und dem zweiten Bereich 15 angeordnet. Der Kontaktbereich 16 ist vorteilhaft im zweiten Bereich 15 angeordnet, insbesondere im Bereich des dem ersten Bereich 15 gegenüberliegenden Endes des zweiten Bereiches 16. Vorzugsweise umfasst der zweite Bereich 15 mindestens den-

jenigen Bereich des beweglichen Teils 11, in dem sich der bewegliche Teil 11 und das zweite Mikro-Element 2 nicht gegenüberstehen. Besonders vorteilhaft ist eine (geringe) Überlappung des zweiten Bereichs 15 mit dem Bereich des beweglichen Teils 11, in dem sich der bewegliche Teil 11 und das zweite Mikro-Element 2 gegenüberstehen. In dem in Fig. 7 dargestellten Ausführungsbeispiel mit abgestufter Elektrode 9 umfasst der zweite Bereich 15 vorteilhaft mindestens auch noch denjenigen Bereich des beweglichen Teils 11, in dem sich der bewegliche Teil 11 und die spaltbildende Oberfläche 12 gegenüberstehen. Besonders vorteilhaft ist in diesem Fall, wenn der zweite Bereich 15 auch noch eine (geringe) Überlappung mit der ersten Oberfläche 3 aufweist. Vorteilhaft findet im Einschaltzustand B' eine vollflächige Berührung zwischen der ersten Oberfläche 3 und einem Teil der zweiten Oberfläche 4 statt, wobei dieser Teil der zweiten Oberfläche 4 komplett im ersten Bereich 14 liegt.

Die grössere Steifigkeit des zweiten Bereichs 15 gegenüber dem ersten Bereich 14 wird im Ausführungsbeispiel aus Fig. 7 dadurch erreicht, dass der zweite Bereich 15 dicker oder breiter ausgebildet ist als der erste Bereich 14. Es ist auch möglich, den zweiten Bereich 15 schwerer biegsam zu machen, beispielsweise indem man dort eine Beschichtung aufbringt; zum Beispiel auf eine Grundfläche des geraden prismatischen Körpers, der den zweiten Bereich 15 bildet, oder auf mindestens eine der Seitenflächen. Mittels eines entsprechend (gross, lang) ausgebildeten Kontaktbereiches, der als Beschichtung ausgebildet ist, könnte dies erreicht werden.

Durch die zwei verschieden steifen Bereiche 14,15 wird schon bei geringen Schaltspannungen und Anziehungskräften zwischen den beiden Mikro-Elementen 1,2 ein Schalten des zweiten Mikro-Elementes 2 von der Ausschaltposition A' in die Einschaltposition B' ermöglicht; der bewegliche Teil 11 (genauer: der erste Bereich 14) des zweiten Mikro-Elementes 2

schmiegt sich, abrollend, schon bei geringen Anziehungskräften an die Elektrode 9 an. Dies, während im zweiten Bereich und vorzugsweise im Kontaktbereich 16 keine oder nur eine geringe Verformung des zweiten Mikro-Elementes 2 zu erwarten ist. Ein sicherer elektrischer Kontakt kann auf diese Weise mittels des Kontaktbereiches 16 zwischen den Fixkontakten 17,18 hergestellt werden.

Die genannten Merkmale können selbstverständlich auch sinngemäss auf die weiter oben und auf die weiter unten beschriebenen Ausführungsbeispiele angewandt werden (Fig. 1 bis Fig. 6 und Fig. 8 bis Fig. 11b).

Fig. 8 zeigt eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung, nämlich ein Wechselschalt-Relais, welches ausser einem Normally-Open-Anschluss (NO-Anschluss) zusätzlich auch noch einen Normally-Closed-Anschluss (NC-Anschluss) umfasst. NO-Anschluss bedeutet, dass der Anschluss bei Nichtanliegen einer geeigneten Schaltspannung geöffnet ist (spannungslos geöffnet), wie dies in den oben aufgeführten Ausführungsbeispielen (Fig. 4 bis Fig. 7) der Fall ist. NC-Anschlüsse, welche bei Nichtanliegen einer geeigneten Schaltspannung geschlossen sind (spannungslos geschlossen), sind hingegen schwierig realisierbar, und werden aber in dieser Ausführungsform realisiert. Insbesondere ist hier ein NC-Anschluss in einem mittels DRIE strukturierten MEMS realisiert.

Das MEMS in Fig. 8 ist spiegelbildlich aufgebaut und umfasst ein erstes Mikro-Element 1, ein drittes Mikro-Element 1', ein viertes Mikro-Element 19 und ein fünftes Mikro-Element 20, welche alle bistabil schaltbar sind und eine stabile Initialposition A (durchgezogen gezeichnet) und eine stabile Arbeitsposition B (gestrichelt gezeichnet) aufweisen. Sie sind hier als derartige bistabile Mikro-Elemente ausgebildet, wie sie im Zusammenhang mit Fig. 1 genauer beschrieben sind (zwei parallele, kosinusförmige, in ihrer Mitte ver-

bundene Federzungen). Die Position, in der diese Mikro-Elemente mittels DRIE strukturiert werden, ist die Initialposition A. Das erste Mikro-Element 1 und das dritte Mikro-Element 1' entsprechen einander weitgehend in ihrer Funktion. Sie bestehen nur aus einem Schaltteil 5. Das vierte Mikro-Element 19 und das fünfte Mikro-Element 20 entsprechen einander ebenfalls weitgehend in ihrer Funktion. Sie weisen je eine Kontaktierungselektrode D,D' (zum Anlegen eines zu schaltenden Signals, beispielsweise eines elektrischen Stroms) sowie eine elektrisch leitfähige Kontaktelektrode 21,22 auf. Die Leitfähigkeit der Kontaktelektroden 21,22 wird vorzugsweise durch eine metallische Beschichtung erzeugt. Die Kontaktelektroden 21,22 sind länglich, fingerförmig ausgebildet und etwa in der Mitte 8 zwischen den beiden Enden des jeweiligen Mikro-Elementes 19,20 an dem jeweiligen Mikro-Element 19,20 befestigt. Ferner weist das MEMS noch zwei fest mit dem Substrat S verbundene Fixelektroden 17,18 auf (zum Anlegen einer weiteren zu schaltenden elektrischen Stroms).

Das MEMS in Fig. 8 umfasst weiterhin ein zweites Mikro-Element 2. Das zweite Mikro-Element 2 ist ein monostabil schaltbares Mikro-Element; es weist also nur eine stabile Position auf. Es umfasst ein erstes festes Ende 10 und ein zweites festes Ende 10', welche Enden 10,10' auf dem Substrat S festgesetzt sind, sowie einen zwischen diesen beiden festen Enden 10,10' angeordneten beweglichen Teil 11. Der bewegliche Teil 11 ist als eine, vorzugsweise schwingungsbauchförmig, gebogene Struktur ausgebildet, die an den beiden festen Enden 10,10' des zweiten Mikro-Elementes 2 befestigt ist und einen elektrisch leitfähigen Kontaktbereich 16 aufweist. Der bewegliche Teil 11 weist weiterhin eine zweite Oberfläche 4 auf, welche von einer optionalen zweiten Beschichtung 4b gebildet wird, und welche zweite Oberfläche 4 einer ersten Oberfläche 3 des ersten Mikro-Elementes 1 zugewandt ist. Analog verhält es sich mit einer vierten Oberfläche 4' des zweiten Mikro-Elementes 2 und einer dritten Oberfläche 3' des dritten Mikro-Elementes 1'.

Die zweite Oberfläche 4 ist zwischen dem ersten festen Ende 10 und dem Kontaktbereich 16 angeordnet. Analog ist die vierte Oberfläche 4' zwischen dem zweiten festen Ende 10' und dem Kontaktbereich 16 angeordnet. Nach der Strukturierung des zweiten Mikro-Elementes 2 befindet sich der bewegliche Teil 11 in der Ausschaltposition A', der stabilen Position des zweiten Mikro-Elementes 2.

Aufgrund der Existenz des oben schon erwähnten Minimalabstandes zwischen zwei mittels DRIE erzeugten Mikro-Elementen oder Oberflächen sind die bistabilen Mikro-Elemente 1,1',19,20 von dem zweiten Mikro-Element 2 beabstandet mit mindestens einem solchen Minimalabstand. Nach Aufbringen der optionalen nichtleitenden Beschichtungen 3b,3b' des ersten beziehungsweise dritten Mikro-Elementes 1,1' und der optionalen elektrisch leitfähigen Beschichtungen der Kontaktelektroden 21,22 werden im Rahmen des erfindungsgemässen Herstellungsverfahrens des MEMS die bistabilen Mikro-Elemente 1,1',19,20 von der Initialposition A in die Arbeitsposition B geschaltet. Dadurch wird der Abstand zwischen den Mikro-Elementen oder Oberflächen geringer als der genannte Minimalabstand; in Fig. 8 berühren sich die Mikro-Elemente sogar. Insbesondere berühren beide Kontaktelektroden 21,22 den Kontaktbereich 16. Dadurch wird eine elektrisch leitende Verbindung zwischen den beiden Kontaktelektroden 21,22 und somit der NC-Anschluss erzeugt. Auf diese Weise wird ein spannungslos geschlossener, aber lösbarer Kontakt realisiert. Die Oberflächen 3,4 und die Oberflächen 3',4' berühren sich auch jeweils. Dadurch können bereits durch Anlegen relativ geringer Schaltspannungen zwischen dem zweiten Mikro-Element 2 und dem ersten Mikro-Element 1 und zwischen dem zweiten Mikro-Element 2 und dem dritten Mikro-Element 1' ausreichend grosse elektrostatische Anziehungskräfte zwischen dem zweiten Mikro-Element 2 und den Mikro-Elementen 1,1' erzeugt werden, die zu einem Schalten des zweiten Mikro-Elementes 2 von der Ausschaltposition A' in die Einschaltposition B'

führen. In der Einschaltposition B' ist nun der NC-Anschluss geöffnet, während der NO-Anschluss geschlossen ist. Aufgrund seiner Monostabilität schaltet das zweite Mikro-Element 2 beim Nichtanliegen einer geeigneten Schaltspannung von selbst wieder in die Ausschaltposition: NC-Anschluss geschlossen, NO-Anschluss geöffnet.

Zahlreiche Modifikationen der Ausführungsform von Fig. 8 sind denkbar und vorteilhaft: Hier einige Beispiele:

- Es ist möglich, das MEMS nicht spiegelsymmetrisch aufzubauen.
- Man kann auf die Fixkontakte 17,18 verzichten und hat dann ein NC-Anschluss-Mikro-Relais.
- Man kann auf die Mikro-Elemente 19,20 verzichten und hat dann ein NO-Anschluss-Mikro-Relais.
- Wenn auf die Fixkontakte 17,18 oder auf die Mikro-Elemente 19,20 verzichtet wird, reicht es, wenn der Kontaktbereich 16 des zweiten Mikro-Elementes 2 nur auf einer Seite elektrisch leitfähig ist.
- Man kann die Mikro-Elemente 1,1' mit (angepassten, optional: gestuften) Elektroden 9 versehen (siehe Fig. 3 bis Fig. 7).
- Man kann die Kontaktierungselektroden 21,22 anders ausbilden; oder ganz auf sie verzichten und dann mittels des vorzugsweise elektrisch leitend beschichteten Schaltteils den Kontaktteil 16 des zweiten Mikro-Elementes 2 kontaktieren.
- Es ist möglich, die Mikro-Elemente 1,1' auf der anderen Seite des zweiten Mikro-Elementes 2 anzuordnen, also in dem Bereich des Substrates S, der auf der den Fixkontakten 17,18 abgewandten Seite des zweiten Mikro-Elementes 2 liegt. Dann ist das Mikro-Relais durch elektrostatische Abstossungskräfte schaltbar.
- Es ist auch möglich, das erste Mikro-Element 1 in einem anderen Bereich (des Substrates S, bezüglich des zweiten Mikro-Elementes 2) anzuordnen als das dritte Mikro-Element 1'.

- Man kann auf das dritte Mikro-Element 1' verzichten und nur das erste Mikro-Element 1 als elektrostatische Gegenelektrode zu dem zweiten Mikro-Element 2 als beweglicher Elektrode einsetzen.

Die genannten Merkmale können gemeinsam oder auch einzeln oder in beliebiger Kombination vorteilhaft sein.

Fig. 9 zeigt ein Wechselschalt-Relais, welches ausser einem Normally-Open-Anschluss (NO-Anschluss) zusätzlich auch noch einen Normally-Closed-Anschluss (NC-Anschluss) umfasst. Das MEMS ist sehr ähnlich aufgebaut wie das in Fig. 8 beschriebene; für entsprechende Merkmale wird auf den obigen Text verwiesen. Allerdings ist das zweite Mikro-Element 2 hier nicht monostabil, sondern bistabil ausgeführt. Insbesondere hat es einen Aufbau mit zwei parallelen, kosinusförmigen, in ihrer Mitte verbundenen Federzungen, wie er im Zusammenhang mit Fig. 1 detailliert beschrieben ist. Die beiden stabilen Positionen des zweiten Mikro-Elementes 2 sind die Ausschaltposition A' und die Einschaltposition B'. Ein grosser Vorteil der Bistabilität des zweiten Mikro-Elementes 2 ist, dass es keiner anliegenden Schaltspannung bedarf, um das zweite Mikro-Element 2 in der Ausschaltposition A' oder der Einschaltposition B' zu halten. Nach Anlegen einer geeigneten Schaltspannung und dem dadurch hervorgerufenen Schaltvorgang in den anderen Zustand A',B' verbleibt das zweite Mikro-Element 2 selbsttätig in diesem Zustand A',B'. Dadurch kann jedes der beiden Kontaktpaare, an denen ein zu schaltendes Signal anliegt (Fixelektroden 17,18 beziehungsweise Mikro-Elemente 19,20) ein NO-Anschluss oder ein NC-Anschluss sein.

Ausserdem weist das MEMS in Fig. 9 zwei weitere bistabil schaltbare Mikro-Elemente auf: das sechste Mikro-Element 23 und das siebte Mikro-Element 24. Diese sind hier ebenfalls mit zwei parallelen, kosinusförmigen, in ihrer Mitte verbundenen Federzungen aufgebaut und haben jeweils eine (angepasste) Elektrode 9. Sie sind in dem Bereich des Substrates S angeord-

net, der auf derjenigen Seite des zweiten Mikro-Elementes 2 liegt, die den Mikro-Elementen 1,1' abgewandt ist. Die Mikro-Elemente 23,24 wirken in analoger Weise mit dem zweiten Mikro-Element 2 zusammen wie die Mikro-Elemente 1,1'. Zum Beispiel weist dazu das zweite Mikro-Element 2 eine sechste Fläche 26a und eine achte Fläche 26a' auf, die mit einer fünften Fläche 25a (des sechsten Mikro-Elementes 23) beziehungsweise einer siebten Fläche 25a' (des siebten Mikro-Elementes 24) zusammenwirken. Mittels elektrostatischer Anziehungskräfte zwischen dem zweiten Mikro-Element 2 und dem sechsten Mikro-Element 23 (genauer: zwischen den entsprechenden Flächen oder Oberflächen) beziehungsweise dem siebten Mikro-Element 24 (genauer: zwischen den entsprechenden Flächen oder Oberflächen) kann das zweite Mikro-Element 2 von dem Einschaltzustand B' in den Ausschaltzustand A' geschaltet werden.

Es sind mehrere vorteilhafte Modifikationen dieser Ausführungsform denkbar:

- Es ist möglich, das MEMS nicht spiegelsymmetrisch aufzubauen.
- Man kann auf die Fixkontakte 17,18 verzichten.
- Man kann auf die Mikro-Elemente 19,20 verzichten.
- Wenn auf die Fixkontakte 17,18 oder auf die Mikro-Elemente 19,20 verzichtet wird, reicht es, wenn der Kontaktbereich 16 des zweiten Mikro-Elementes 2 nur auf einer Seite elektrisch leitfähig ist.
- Man kann die Mikro-Elemente 1,1' mit (angepassten, optional: gestuften) Elektroden 9 versehen (siehe Fig. 3 bis Fig. 7).
- Man kann die Mikro-Elemente 23,24 ohne angepasste Elektroden 9 einsetzen.
- Man kann die Kontaktierungselektroden der Mikro-Elemente 19,20 anders ausbilden; oder ganz auf sie verzichten und dann mittels des vorzugsweise elektrisch leitend beschichteten Schaltteils den Kontaktteil 16 des zweiten Mikro-Elementes 2 kontaktieren.

- Es ist möglich, das Mikro-Relais durch elektrostatische Abstossungskäfte zu schalten; oder es mittels elektrostatischer Abstossungskäfte und elektrostatischer Anziehungskäfte zu schalten.
- Man kann auf eines, zwei oder drei der Mikro-Elemente 1,1',23,24 verzichten; insbesondere auf die diagonal einander gegenüberliegenden Mikro-Elemente 1,24 oder die Mikro-Elemente 1',23.
- Wenn ein Schaltvorgang durch Zusammenwirken mindestens zweier Mikro-Elemente 1,1',23,24 mit dem zweiten Mikro-Element 2 erzeugt wird, ist es besonders vorteilhaft, wenn mindestens eine der entsprechenden Schaltspannungen mit einer zeitlicher Verzögerung relativ zu mindestens einer der anderen Schaltspannungen angelegt wird. Dadurch kann die Bewegung, welche der bewegliche Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 beim Schaltvorgang macht, unterstützt werden. Insbesondere kann der asymmetrischen Bewegung der zwei parallelen, kosinusförmig gekrümmten Federzungen des zweiten Mikro-Elementes 2 Rechnung getragen werden. Es können auch entsprechend angepasste zeitliche Schaltspannungsprofile benutzt werden.
- Wenn statt eines kosinusförmigen bistabilen zweiten Mikro-Elementes 2 ein schwingungsbauchförmiges eingesetzt wird, werden vorteilhaft die Fixkontakte 17,18 oder das vierte und/oder fünfte Mikro-Element 19,20 derart angeordnet, dass mindestens einer von diesen für die Asymmetrische Ausbildung des Schwingungsbauches sorgt.

Die genannten Merkmale können gemeinsam oder auch einzeln oder in beliebiger Kombination vorteilhaft sein.

Fig. 10a bis Fig. 10c zeigen eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung in verschiedenen Positionen. Es handelt sich bei diesem MEMS um ein Mikro-Relais mit einem NC-Anschluss, welcher im allgemeinen nur schwer realisierbar ist. Das MEMS wird ausgehend von dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel beschrieben, da es die gleichen Bestandteile

aufweist. Fig. 10a zeigt das MEMS, in dem Zustand, den es nach der Strukturierung mittels DRIE hat: Das erste Mikro-Element 1 befindet sich in der Initialposition A. Fig. 10b zeigt das MEMS in einem Zustand, in welchem das erste Mikro-Element 1 sich in der Arbeitsposition B befindet, und sich das zweite Mikro-Element 2 in dem Ausschaltzustand A' befindet. Fig. 10c zeigt das MEMS in einem Zustand, in welchem das erste Mikro-Element 1 sich in der Arbeitsposition B befindet, und sich das zweite Mikro-Element 2 in dem Einschaltzustand B' befindet.

Im Unterschied zu den weiter oben diskutierten Ausführungsformen ist es hier so, dass das erste Mikro-Element 1 nach dem Umschalten von der Initialposition A in die Arbeitsposition B nicht nur einfach dem zweiten Mikro-Element 2 näher kommt als der durch DRIE gegebene Minimalabstand und das zweite Mikro-Element 2 nur (leicht) berührt. Vielmehr ist hier die Anordnung der Mikro-Elemente 1,2 auf dem Substrat S und die Ausgestaltung der Mikro-Elemente 1,2 derart gewählt, dass das erste Mikro-Element 1 in der Arbeitsposition B eine Kraft auf den beweglichen Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 ausübt, die zu einer (deutlichen) elastischen Verformung des beweglichen Teils 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 führt (siehe Fig. 10b). Der bewegliche Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 wird derart verformt, dass der elektrisch leitfähige Kontaktbereich 16 des zweiten Mikro-Elementes 2 die Fixkontakte 17,18 leitend verbindet: Der NC-Anschluss ist geschlossen. Es wird ein spannungslos geschlossener, aber lösbarer Kontakt realisiert; in einem unter Einsatz von DRIE strukturierten MEMS. Anders ausgedrückt: Durch das Schalten des ersten Mikro-Elementes 1 von der Initialposition A in die Arbeitsposition B wird ein Schaltvorgang des zweiten Mikro-Elementes 2 hervorgerufen. Da keine Schaltspannung dafür anliegen muss, befindet sich das zweite Mikro-Element 2 nach diesem Schaltvorgang in der Ausschaltposition A'. Um den NC-Anschluss wieder zu öffnen, muss eine geeignete Schaltspannung zwischen dem ersten Mikro-Element 1 und dem

zweiten Mikro-Element 2 angelegt werden. Mittels elektrostatischer Anziehungskräfte wird der NC-Anschluss geöffnet, und das zweite Mikro-Element 2 geht in den Einschaltzustand B' (siehe Fig. 10c).

In Kombination mit weiter oben genannte Merkmalen können auf der Grundlage der Figuren 10a-10c weitere vorteilhafte Ausführungsformen geschaffen werden. Insbesondere kann auf die Elektrode 9 verzichtet werden. Oder die Elektrode 9 kann anders ausgebildet werden. Insbesondere kann man vorteilhaft die Elektrode 9 derart ausbilden und die Mikro-Elemente 1,2 derart zueinander anordnen, dass die Berührungsstellen zwischen den beiden Mikro-Elementen 1,2 (wenn das erste Mikro-Element 1 in der Arbeitsposition A ist und das zweite Mikro-Element 2 in der Ausschaltposition A' ist) im wesentlichen auf einer Geraden liegen mit der Mitte 8 in der Initialposition A und der Mitte 8 in der Arbeitsposition. Dadurch kann eine geringe mechanische Belastung des ersten Mikro-Elementes 1 erreicht werden, wobei gleichzeitig grosse Kontaktkräfte auf die Fixkontakte 17,18 ausgeübt werden können (sichere Kontakte).

Auch ist es vorteilhaft, in Analogie zu der in Fig. 5 dargestellten Ausführungsform, ein zweites Paar Fixkontakte 17',18' (nicht dargestellt in Fig. 10) vorzusehen, wobei diese Fixkontakte 17',18' derart anzuordnen sind, dass der Kontaktbereich 16 des zweiten Mikro-Elementes 2 diese Fixkontakte 17',18' elektrisch leitend miteinander verbindet, wenn das zweite Mikro-Element 2 sich in der Einschaltposition B' befindet. So erhält man ein Wechselschalt-Relais, ähnlich dem aus Fig. 5, aber mit nur einem bistabilen Mikro-Element 1. Vorteilhaft kann ausserdem der bewegliche Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 zweiteilig ausgebildet werden (analog zu der Ausführungsform von Fig. 7).

In den obigen Ausführungen wurden nur lateral arbeitende MEMS diskutiert. Es ist aber auch möglich, die beschriebenen MEMS (in ähnlicher Form) als horizontal arbeitende MEMS aufzubauen. Zur Herstellung wird dann typischerweise nicht DRIE eingesetzt, sondern es wird eher auf andere aus der MEMS- oder Halbleitertechnologie bekannte Verfahren zurückgegriffen, wie sie beispielsweise in den bereits genannten Patentschriften US 5,638,946, US 5'677'823 oder DE 42 05 029 C1 erwähnt werden. Der Offenbarungsgehalt dieser Patentschriften wird darum hiermit in die vorliegende Beschreibung aufgenommen.

Fig. 11a und Fig. 11b zeigen ein mögliches Ausführungsbeispiel, in welchem die beweglichen Teile des MEMS im wesentlichen horizontal beweglich sind. Fig. 11a ist eine geschnittene Seitenansicht des in Fig. 11b in Aufsicht dargestellte MEMS. In Fig. 11b ist mit X1a-X1a die Linie des Schnittes der Fig. 11a dargestellt. Das MEMS ist ein Mikro-Relais mit einem NC-Anschluss.

Das erste Mikro-Element 1 ist hier als ein schwingungsbauchförmiges bistabil elastisch schaltbares Mikro-Element ausgebildet, analog zu dem in Fig. 2 gezeigten ersten Mikro-Element 1. In der Initialposition A ist der symmetrische Schwingungsbauch von dem Substrat S weggewölbt. Das zweite Ende 7 des ersten Mikro-Elementes 1 ist hier brückenartig ausgebildet. Dadurch kann sich das unterhalb des Schwingungsbauches angeordnete zweite Mikro-Element 2 bis ausserhalb des Bereiches zwischen dem ersten Ende 6 und zweiten Ende 7 des ersten Mikro-Elementes 1 erstrecken. Das erste feste Ende 10 des zweiten Mikro-Elementes 2 dient hier als Anschlag für die Bildung des asymmetrischen Schwingungsbauches des ersten Mikro-Elementes 1 in der Arbeitsposition B.

Der bewegliche Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 verläuft zunächst (nach der Strukturierung) im wesentlichen parallel zu der Hauptfläche des

Substrates S. Nach dem Schalten des ersten Mikro-Elementes 1 von der Initialposition A in die Arbeitsposition B übt das erste Mikro-Element 1 eine Druckkraft auf den beweglichen Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 aus. Das zweite Mikro-Element 2 wird elastisch verformt. Es gelangt in seine Ausschaltposition A', in welcher eine fest an dem beweglichen Teil 11 angebrachte bewegliche Kontaktelektrode E eine auf dem Substrat S fixierte Fixelektrode 17 berührt. Dadurch entsteht ein NC-Anschluss zwischen der beweglichen Kontaktelektrode E und der Fixelektrode 17. Diese Erzeugung eines NC-Anschlusses ist ganz analog zu der in Zusammenhang mit den Fig. 10a bis 10c beschriebenen Methode.

Werden geeignete Schaltspannungen zwischen den beiden Mikro-Elementen 1,2 angelegt, so geht das zweite Mikro-Element 2 in den Einschaltzustand B' über, in welchem der bewegliche Teil 11 des zweiten Mikro-Elementes 2 von dem Substrat weggebogen ist und der NC-Anschluss geöffnet ist. Die Kontaktierungselektroden C,C' dienen zum Anlegen von Schaltspannungen. Zum Anlegen eines zu schaltenden Signals dienen Kontaktierungselektroden D,D'. Die Kontaktierungselektrode D, welche elektrisch mit der beweglichen Kontaktelektrode E verbunden ist, ist hier auf dem ersten festen Ende 10 des zweiten Mikro-Elementes 2 angeordnet. Die mit dem Fixkontakt 17 elektrisch verbundene Kontaktierungselektrode D' ist auf dem Substrat S angeordnet.

Andere erfindungsgemässe MEMS, wie beispielsweise die weiter oben beschriebenen MEMS, sind ebenfalls als horizontal arbeitende MEMS realisierbar.

Eine Anordnung mit einer Fixelektrode 17 und einer beweglichen Kontaktelektrode E, wie in Fig. 11a und 11b, ist vorteilhaft auch in den weiter oben

beschriebenen MEMS, welche mit einem Kontaktbereich 16 und zwei Fixelektroden 17,18 beschrieben sind, realisierbar.

Sehr vorteilhaft an dieser Ausführungsform von Fig. 11a,b ist, dass der Abstand im geöffneten Zustand zwischen der beweglichen Kontaktelektrode E des zweiten Mikro-Elementes 2 und dem Fixkontakt 17 wählbar ist und fertigungstechnisch sehr gut reproduzierbar ist. Dasselbe gilt auch für die weiter oben diskutierten Ausführungsformen, sofern man diese analog zu Fig. 11a,b mit einer beweglichen Kontaktelektrode E ausführt.

Ein erfindungsgemässes MEMS ist nicht nur, wie in obigen Beispielen, als Schalter oder Relais ausführbar. Es sind verschiedenste Mikro-Aktoren realisierbar. Beispielsweise können erfindungsgemässe MEMS Mikro-Ventile oder Mikro-Pumpen darstellen oder solche betätigen.

Das zur Herstellung eines erfindungsgemässen MEMS verwendete Substrat S ist vorzugsweise flächig ausgebildet. Typischerweise weist es eine Hauptfläche auf, die zur Herstellung des MEMS strukturiert wird, wobei die Bewegung der beweglichen Teile des MEMS im wesentlichen parallel oder senkrecht zu dieser Hauptfläche beweglich sind. Vorzugsweise besteht das Substrat S aus einem Halbleitermaterial, insbesondere Silizium, das vorteilhaft einkristallin und besonders vorteilhaft (für eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit) auch noch dotiert ist. Bei einkristallinem Silizium ist bei unter mechanischem Stress stehenden bistabil schaltbaren Mikro-Elementen 1,1',2,19,20,23,24 vorteilhaft keine oder nur sehr langsam erfolgende Relaxation zu erwarten.

Insbesondere kann ein SOI-Wafer (silicon-on-insulator) verwendet werden, der aus drei substratparallelen Schichten Silizium-Siliziumoxid-Silizium. Dabei dient die Siliziumoxid-Schicht als Opferschicht.

Das erwähnte Strukturierungsverfahren ist typischerweise ein materialabtragendes Verfahren, vorzugsweise ein Ätzverfahren. Die LIGA-Technik oder insbesondere das reaktive Ionenätzen und besonders vorteilhaft das Ionen-tiefätzen (DRIE) kommen hier in Frage. Das DRIE-Verfahren hat den Vorteil, sehr gut zur Erzeugung von Flächen geeignet zu sein, die (relativ zu ihrer substratsenkrechten Höhe) eng beabstandet sind und praktisch senkrecht zu der Hauptfläche des Substrates S verlaufen. Für die Herstellung lateral arbeitender MEMS ist DRIE gut geeignet. Aber auch Verfahren, die Material auftragen sind denkbar, beispielsweise wenn derart erzeugte einander zugewandte Flächen verfahrensbedingt einen Minimalabstand aufweisen. Beispielsweise mittels Photopolymerisation arbeitende Rapid-Prototyping-Verfahren.

Ausser elektrostatisch betätigbaren Aktoren können erfindungsgemäss beispielsweise auch elektromagnetisch oder piezoelektrisch betätigbare Aktoren realisiert werden. Die betätigenden Kräfte können abstossend oder anziehend sein.

Ein erfindungsgemässes bistabil schaltbares Mikro-Element kann auch tristabil oder anderweitig multistabil schaltbar sein. Es ist für manche Anwendungen ausserdem nicht nötig, dass die Mikro-Elemente 1,1',19,20,23,24 nach der ersten Umschaltung von der Initialposition A in die Arbeitsposition B auch wieder zurückschaltbar in die Initialposition A sind. Man kann auch ein einmaliges, beispielsweise plastisches, Verformen in Erwägung ziehen. Die Mikro-Elemente 1,1',19,20,23,24 sind aber vorzugsweise bistabil elastisch schaltbar und wieder in die Initialposition A zurückschaltbar. Besonders vorteilhaft ist es, die bistabilen Mikro-Elemente 1,1',2,19,20,23,24 als die geschilderten kosinusförmigen oder als die geschilderten schwingungs-

bauchförmigen Mikro-Elemente auszubilden, wobei diese auch in abgewandelter Form und innerhalb eines MEMS's kombiniert realisierbar sind.

Je nach Zweck können die Mikro-Elemente optional elektrisch leitend oder elektrisch nichtleitend beschichtet werden. Eine nichtleitende Beschichtung dient vorzugsweise der Verhinderung von Entladungen zwischen einander berührenden elektrostatischen Elektroden. Beispielsweise als alternativer oder zusätzlicher Schutz vor derartigen Entladungen können Stopper oder Federn eingesetzt werden, wie sie aus der bereits zitierten DE 198 00 189 A1 bekannt sind. Die Kontaktierungselektroden C,C',D,D' sind in bekannter Weise herstellbar (zum Beispiel durch Sputtern) und beispielsweise durch Bonden kontaktierbar.

Zum Herstellungsprozess für die erfindungsgemässen MEMS ist zu bemerken, dass das erstmalige Umschalten des ersten Mikro-Elementes 1 und auch der anderen bistabil schaltbaren Mikro-Elemente 1',19,20,23,24 von der Initialposition A in die Arbeitsposition B als noch zu dem Herstellungsprozess des MEMS gehörig zu betrachten ist. Dieser initiale Schaltvorgang kann mechanisch erfolgen. Vorzugsweise wird dieser Schaltvorgang aber im Rahmen eines Qualitäts- oder Funktionstests (Burn-in) des MEMS vorgenommen, wobei andere mit dem Substrat verbundene Einheiten dabei mitgetestet oder initialisiert werden können. Der initiale Schaltvorgang kann dann vorzugsweise durch Erzeugen einer attraktiven Kraft zwischen dem bistabilen Mikro-Element 1,1',19,20,23,24 und dem zweiten Mikro-Element 2 erfolgen, wobei diese Kraft vorteilhaft durch Anlegen einer Schaltspannung erfolgt. Eine solche Schaltspannung ist typischerweise höher als eine Schaltspannung, die zum Schalten des zweiten Mikro-Elementes 2 zwischen Ausschaltposition A' und Einschaltposition B' verwendet wird.

Die genannten Merkmale können gemeinsam oder auch einzeln oder in beliebiger Kombination vorteilhaft sein.

Die Linearausdehnung der beschriebenen MEMS ist typischerweise zwischen 0.2 mm und 5 mm, vorzugsweise 0.8 mm bis 2 mm. Für DRIE als Strukturierungsverfahren beträgt der erwähnte Minimalabstand (minimale Grabenbreite) etwa 5 μm bis 15 μm ; er weist eine geringe Abhängigkeit von der Tiefe des strukturierten Grabens auf. Typischerweise beträgt die Tiefe des strukturierten Grabens 300 μm bis 550 μm . Durch Schalten von der Initialposition A in die Arbeitsposition B wird der entsprechende Abstand auf typischerweise null oder 0,1 μm bis 1 μm reduziert. Schichtdicken der elektrisch nichtleitenden Beschichtungen 3b,3b',4b,4b' betragen typischerweise 50 nm bis 500 nm

Die Schaltspannungen für die beschriebenen MEMS (Schalten zwischen Ausschaltposition A' und Einschaltposition B') betragen typischerweise 10 V bis 80 V, vorzugsweise 25 V bis 50 V. Wenn die erste Umschaltung der bistabilen Mikro-Elemente von der Initialposition A in die Arbeitsposition durch elektrostatische Anziehungskräfte erfolgt, werden dafür typischerweise Schaltspannungen zwischen 70 V und 300 V, vorzugsweise zwischen 100 V und 200 V eingesetzt.

Bezugszeichenliste

- 1 erstes Mikro-Element
- 1' drittes Mikro-Element
- 2 zweites Mikro-Element
- 3 erste Oberfläche (des ersten Mikro-Elementes); der zweiten Oberfläche zugewandt
- 3a erste Fläche (des ersten Mikro-Elementes); der zweiten Fläche zugewandt
- 3b erste Beschichtung (der ersten Fläche)
- 3' dritte Oberfläche (des dritten Mikro-Elementes); der vierten Oberfläche zugewandt
- 3a' dritte Fläche (des dritten Mikro-Elementes); der vierten Fläche zugewandt
- 3b' dritte Beschichtung (der dritten Fläche)
- 4 zweite Oberfläche (des zweiten Mikro-Elementes); der ersten Oberfläche zugewandt
- 4a zweite Fläche (des zweiten Mikro-Elementes); der ersten Fläche zugewandt
- 4b zweite Beschichtung (der zweiten Fläche)
- 4' vierte Oberfläche (des zweiten Mikro-Elementes); der dritten Oberfläche zugewandt
- 4a' vierte Fläche (des zweiten Mikro-Elementes); der dritten Fläche zugewandt
- 4b' vierte Beschichtung (der vierten Fläche)
- 5 Schaltteil des ersten Mikro-Elementes
- 6 erstes Ende des ersten Mikro-Elementes
- 7 zweites Ende des des ersten Mikro-Elementes

- 8 Mitte zwischen dem ersten und dem zweiten Ende des ersten Mikro-Elementes
- 9 (angepasste) Elektrode des ersten Mikro-Elementes
- 10 erstes festes Ende des zweiten Mikro-Elementes
- 10' zweites festes Ende des zweiten Mikro-Elementes
- 11 beweglicher Teil des zweiten Mikro-Elementes
- 12 spaltbildende Oberfläche
- 13 Spalt
- 14 erster Bereich des beweglichen Teils des zweiten Mikro-Elementes
- 15 zweiter Bereich des beweglichen Teils des zweiten Mikro-Elementes
- 16,16' Kontaktbereich des beweglichen Teils des zweiten Mikro-Elementes
- 17,18 Fixkontakte
- 17',18' Fixkontakte
- 19 viertes Mikro-Element
- 20 fünftes Mikro-Element
- 21,22 Kontaktelektrode
- 23 sechstes Mikro-Element
- 24 siebtes Mikro-Element
- 25a fünfte Fläche (des sechsten Mikro-Elementes); der sechsten Fläche zugewandt
- 25a' siebte Fläche (des siebten Mikro-Elementes); der achten Fläche zugewandt
- 26a sechste Fläche (des zweiten Mikro-Elementes); der fünften Fläche zugewandt
- 26a' achte Fläche (des zweiten Mikro-Elementes); der fünften Fläche zugewandt
- A Initialposition
- B Arbeitsposition

- A' Ausschaltposition (des zweiten Mikro-Elementes)
- B' Einschaltposition (des zweiten Mikro-Elementes)
- C,C' Kontaktierungselektroden
- D,D' Kontaktierungselektroden
- E bewegliche Kontaktierungselektrode (des zweiten Mikro-
Elementes)
- S Substrat

PATENTANSPRÜCHE

1. Mikro-elektromechanisches System, umfassend ein Substrat (S) sowie ein erstes Mikro-Element (1) und ein zweites Mikro-Element (2), wobei
 - (a) das erste Mikro-Element (1) und das zweite Mikro-Element (2) mit dem Substrat (S) verbunden sind und
 - (b) das erste Mikro-Element (1) eine erste Fläche (3a) aufweist und das zweite Mikro-Element (2) eine zweite Fläche (4a) aufweist, welche Flächen (3a,4a) einander zugewandt sind und durch ein Strukturierungsverfahren erzeugt sind, dadurch gekennzeichnet,
 - (d) dass das erste Mikro-Element (1) einen Schaltteil (5) beinhaltet, durch den es bistabil zwischen einer Initialposition (A) und einer Arbeitsposition (B) schaltbar ist, und
 - (e) dass der Abstand zwischen der ersten Fläche (3a) und der zweiten Fläche (4a) in der Arbeitsposition (B) des ersten Mikro-Elementes (1) kleiner als ein durch das Strukturierungsverfahren erzeugbarer Minimalabstand zwischen der ersten Fläche (3a) und der zweiten Fläche (4a) ist.
2. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
 - (a) dass das erste Mikro-Element (1) eine erste Oberfläche (3) aufweist, die gleich der ersten Fläche (3a) ist oder, wenn die erste Fläche (3a) mit einer ersten Beschichtung (3b) versehen ist, gleich der Oberfläche dieser Beschichtung (3b) ist, und
 - (b) dass das zweite Mikro-Element (2) eine zweite Oberfläche (4) aufweist, die gleich der zweiten Fläche (4a) ist oder, wenn die zweite Fläche

che (4a) mit einer zweiten Beschichtung (4b) versehen ist, gleich der Oberfläche dieser Beschichtung (4b) ist.

3. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 2, wobei
 - (a) das zweite Mikro-Element (2) ein mit dem Substrat (S) fest verbundenes erstes festes Ende (10) sowie einen beweglichen Teil (11) aufweist, dadurch gekennzeichnet,
 - (b) dass die erste Oberfläche (3) und die zweite Oberfläche (4) elektrisch nichtleitend sind, und
 - (c) dass die erste Oberfläche (3) und die zweite Oberfläche (4) in der Arbeitsposition (B) Berührungsstellen aufweisen, und
 - (d) dass das zweite Mikro-Element (2) dadurch von einer Ausschaltposition (A') in eine Einschaltposition (B') schaltbar ist, dass in der Arbeitsposition (B) des ersten Mikro-Elementes (1) der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) durch elektrostatische Kräfte zwischen dem ersten Mikro-Element (1) und dem zweiten Mikro-Element (2) bewegbar ist.
4. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,
 - (a) dass das erste Mikro-Element (1) eine Elektrode (9) umfasst, welche Elektrode (9) die erste Oberfläche (3) beinhaltet, und
 - (b) dass die Elektrode (9) und das zweite Mikro-Element (2) derart ausgebildet sind, dass sich in der Einschaltposition (B') des zweiten Mikro-Elementes (2) die erste Oberfläche (3) und die zweite Oberfläche (4) vollständig berühren.
5. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrode (9) eine spaltbildende Oberfläche (12) aufweist, die derart ausgebildet ist, dass sie stufenartig gegenüber der

ersten Oberfläche (3) zurückversetzt ist und mit dem zweiten Mikro-Element (2) einen Spalt (13) einschliesst, wenn sich das erste Mikro-Element (1) in der Arbeitsposition (B) und sich das zweite Mikro-Element (2) in der Einschaltposition (B') befindet.

6. Mikro-elektromechanisches System gemäss einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) einen ersten Bereich (14) und einen zweiten Bereich (15) aufweist, wobei der erste Bereich (14)
 - zwischen dem zweiten Bereich (15) und dem ersten festen Ende (10) des zweiten Mikro-Elementes (2) angeordnet ist,
 - einen Teil der zweiten Oberfläche (4) umfasst, und
 - weniger steif ausgebildet ist als der zweite Bereich (15).
7. Mikro-elektromechanisches System gemäss einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet,
 - (a) dass das mikro-elektromechanische System zwei fest mit dem Substrat verbundene Fixkontakte (17,18) aufweist, und
 - (b) dass der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) einen elektrisch leitfähigen Kontaktbereich (16) aufweist,
 - welcher Kontaktbereich (16) im Bereich eines dem ersten festen Ende (10) des zweiten Mikro-Elementes (2) gegenüberliegenden Endes des zweiten Mikro-Elementes (2) angeordnet ist, und
 - durch welchen Kontaktbereich (16) in der Einschaltposition (B') des zweiten Mikro-Elementes (2) die beiden Fixkontakte (17,18) leitend miteinander verbunden sind.
8. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
 - (a) dass das mikro-elektromechanische System ein drittes Mikro-

Element (1') umfasst,

- welches bistabil schaltbar ist,
- welches mit dem Substrat (S) verbunden ist, und
- welches in einem Bereich angeordnet ist, der auf der dem ersten Mikro-Element (1) abgewandten Seite des zweiten Mikro-Elementes (2) liegt, und

(b) dass das mikro-elektromechanische System zwei weitere Fixkontakte (17',18') aufweist, welche weiteren Fixkontakte (17',18') mit dem Substrat (S) fest verbunden sind und in einem Bereich angeordnet sind, der auf der den Fixkontakten (17,18) abgewandten Seite des zweiten Mikro-Elementes (2) liegt,

(c) dass der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) einen weiteren elektrisch leitfähigen Kontaktbereich (16') aufweist, welcher im Bereich eines dem ersten festen Ende (10) des zweiten Mikro-Elementes (2) gegenüberliegenden Endes des zweiten Mikro-Elementes (2), auf der dem Kontaktbereich (16) abgewandten Seite des zweiten Mikro-Elementes (2) angeordnet ist, und

(d) wobei das dritte Mikro-Element (1') in analoger Weise mit dem zweiten Mikro-Element (2) und mit den weiteren Fixkontakten (17',18') zusammenwirkt wie das erste Mikro-Element (1) mit dem zweiten Mikro-Element (2) und mit den Fixkontakten (17,18) zusammenwirkt.

9. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 6 und 7 oder gemäss Anspruch 6 und 8, dadurch gekennzeichnet,
dass der Kontaktbereich (16) im zweiten Bereich (15) des beweglichen Teils (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) angeordnet ist.

10. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

(a) dass das mikro-elektromechanische System ein drittes Mikro-

Element (1') umfasst, das

- mit dem Substrat (S) verbunden ist und
- eine dritte Fläche (3a') aufweist,

(b) dass das zweite Mikro-Element (2) einen Schaltteil beinhaltet, welcher

- ein mit dem Substrat (S) fest verbundenes erstes festes Ende (10),
- ein mit dem Substrat (S) fest verbundenes zweites festes Ende (10'),
- einen zwischen diesen beiden festen Enden (10,10') angeordneten beweglichen Teil (11) und
- eine vierte Fläche (4a')

aufweist, und

(c) durch welchen Schaltteil das zweite Mikro-Element (2) zwischen einer Ausschaltposition (A') und einer Einschaltposition (B') schaltbar ist,

wobei

(d) der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) einen elektrisch leitfähigen Kontaktbereich (16) umfasst,

(e) die zweite Fläche (4a) zwischen dem ersten festen Ende (10) und dem Kontaktbereich (16) angeordnet ist, und

(f) die vierte Fläche (4a') zwischen dem zweiten festen Ende (10') und dem Kontaktbereich (16) angeordnet ist,

(g) die dritte Fläche (3a') und die vierte Fläche (4a') durch das Strukturierungsverfahren erzeugt sind und einander zugewandt sind, und

(h) dass das dritte Mikro-Element (1') einen Schaltteil beinhaltet, durch den es bistabil zwischen einer Initialposition (A) und einer Arbeitsposition (B) schaltbar ist, und

(i) dass der Abstand zwischen der dritten Fläche (3a') und der vierten Fläche (4a') in der Arbeitsposition (B) des dritten Mikro-Elementes (1') kleiner als ein durch das Strukturierungsverfahren erzeugbarer Minimalabstand zwischen der dritten Fläche (3a') und der vierten Fläche (4a') ist.

11. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,

(a) dass das dritte Mikro-Element (1') eine dritte Oberfläche (3') aufweist, die gleich der dritten Fläche (3a') ist oder, wenn die dritte Fläche (3a') mit einer dritten Beschichtung (3b') versehen ist, gleich der Oberfläche dieser Beschichtung (3b') ist, und

(b) dass das zweite Mikro-Element (2) eine vierte Oberfläche (4') aufweist, die gleich der vierten Fläche (4a') ist oder, wenn die vierte Fläche (4a') mit einer vierten Beschichtung (4b') versehen ist, gleich der Oberfläche dieser Beschichtung (4b') ist.

12. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet,

(a) dass das mikro-elektromechanische System zwei fest mit dem Substrat (S) verbundene Fixkontakte (17,18) beinhaltet,

(b) dass das zweite Mikro-Element (2) dadurch von seiner Ausschaltposition (A') in seine Einschaltposition (B') schaltbar ist, dass in der Arbeitsposition (B) des ersten Mikro-Elementes (1) und des dritten Mikro-Elementes (1') der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) durch elektrostatische Kräfte zwischen dem ersten Mikro-Element (1) und dem zweiten Mikro-Element (2) und zwischen dem dritten Mikro-Element (1') und dem zweiten Mikro-Element (2) elastisch bewegbar ist, und

(c) dass in der Einschaltposition (B') des zweiten Mikro-Elementes (2) die beiden Fixkontakte (17,18) durch den Kontaktbereich (16) leitend miteinander verbunden sind.

13. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,

(a) dass das mikro-elektromechanische System

- ein viertes Mikro-Element (19) und
- ein fünftes Mikro-Element (20)

umfasst,

(b) welche Mikro-Elemente (19,20)

- mit dem Substrat (S) in einem Bereich verbunden sind, der auf der den Fixkontakten (17,18) abgewandten Seite des zweiten Mikro-Elementes (2) liegt,
- Schalteile beinhalten, durch die sie bistabil zwischen einer Initialposition (A) und einer Arbeitsposition (B) schaltbar sind, und
- je eine mit einer elektrisch leitfähigen Beschichtung versehene Kontaktelektrode (21,22) aufweisen, und

(c) dass in der Ausschaltposition (A') des zweiten Mikro-Elementes (2) in der Arbeitsposition (B) des vierten Mikro-Elementes (19) und des fünften Mikro-Elementes (20) die beiden Kontaktelektroden (21,22) durch den Kontaktbereich (16) elektrisch leitend miteinander verbunden sind.

14. Mikro-elektromechanisches System gemäss einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Mikro-Element (2) bistabil elastisch zwischen seiner Ausschaltposition (A') und seiner Einschaltposition (B') schaltbar ist.

15. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet,

(a) dass das mikro-elektromechanische System

- ein sechstes Mikro-Element (23) und
- ein siebtes Mikro-Element (24)

umfasst,

(b) welche Mikro-Elemente (23,24)

- mit dem Substrat (S) verbunden sind,
- auf der Seite des zweiten Mikro-Elementes (2) angeordnet sind, die

- der zweiten Oberfläche (4) und vierten Oberfläche (4') abgewandt ist,
- Schaltteile beinhalten, durch die sie bistabil zwischen einer Initialposition (A) und einer Arbeitsposition (B) schaltbar sind,
- (c) dass das sechste Mikro-Element (23) eine fünfte Fläche (25a) aufweist,
- (d) dass das zweite Mikro-Element (2) eine sechste Fläche (26a) umfasst, die auf der der zweiten Oberfläche (4) abgewandten Seite des zweiten Mikro-Elementes (2) zwischen dem ersten festen Ende (10) und dem Kontaktbereich (16) angeordnet ist,
- (e) wobei die fünfte Fläche (25a) und die sechste Fläche (26a) einander zugewandt sind und durch das Strukturierungsverfahren erzeugt sind,
- (f) dass das siebte Mikro-Element (24) eine siebte Fläche (25a') aufweist,
- (g) dass das zweite Mikro-Element (2) eine achte Fläche (26a') umfasst, die auf der vierten Oberfläche (4') abgewandten Seite des zweiten Mikro-Elementes (2) zwischen dem zweiten festen Ende (10') und dem Kontaktbereich (16) angeordnet ist,
- (h) wobei die siebte Fläche (25a') und die achte Fläche (26a') einander zugewandt sind und durch das Strukturierungsverfahren erzeugt sind, und
- (i) dass der Abstand zwischen der fünften Fläche (25a) und der sechsten Fläche (26a) in der Arbeitsposition (B) des sechsten Mikro-Elementes (23) kleiner als ein durch das Strukturierungsverfahren erzeugbarer Minimalabstand zwischen der fünften Fläche (25a) und der sechsten Fläche (26a) ist, und
- (i) dass der Abstand zwischen der siebten Fläche (25a') und der achten Fläche (26a') in der Arbeitsposition (B) des siebten Mikro-Elementes (24) kleiner als ein durch das Strukturierungsverfahren erzeugbarer Minimalabstand zwischen der siebten Fläche (25a') und der achten Fläche (25a',26a') ist, und
- (j) dass das zweite Mikro-Element (2) dadurch von seiner Einschaltpositi-

on (B') in seine Ausschaltposition (A') schaltbar ist, dass in der Arbeitsposition (B) des sechsten Mikro-Elementes (23) und des siebten Mikro-Elementes (24) der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) durch elektrostatische Kräfte zwischen dem sechsten Mikro-Element (23) und dem zweiten Mikro-Element (2) und zwischen dem siebten Mikro-Element (24) und dem zweiten Mikro-Element (2) elastisch bewegbar ist.

16. Mikro-elektromechanisches System gemäss einem der Ansprüche 14 oder 15, wobei

- (a) das Substrat (S) als flächig ausgedehnter Festkörper mit einer Hauptfläche ausgebildet ist, und
 - (b) die Mikro-Elemente (1,1',2,19,20,23,24) als gerade prismatische Körper ausgebildet sind, deren Grundflächen parallel zu der Hauptfläche ausgerichtet sind, dadurch gekennzeichnet,
 - (c) dass der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2)
 - als gerader prismatische Körper ausgebildet ist und
 - lateral beweglich ist, und
 - (d) dass die Grundfläche des den beweglichen Teil (11) bildenden geraden prismatischen Körpers
- entweder
- in der Ausschaltposition (A') die Form eines symmetrischen Schwingungsbauches und
 - in der Einschaltposition (B') die Form eines asymmetrischen Schwingungsbauches aufweist,

oder

- zwei parallele kosinusförmige Linien beschreibt, welche in der Mitte (8) zwischen ihren zwei Enden (6,7) miteinander verbunden sind.

17. Mikro-elektromechanisches System gemäss einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei

- (a) das Substrat (S) als flächig ausgedehnter Festkörper mit einer Hauptfläche ausgebildet ist, und
- (b) die Mikro-Elemente (1,1',2,19,20,23,24) als gerade prismatische Körper ausgebildet sind, deren Grundflächen parallel zu der Hauptfläche ausgerichtet sind, dadurch gekennzeichnet,
- (c) dass mindestens ein bistabil zwischen einer Initialposition (A) und einer Arbeitsposition (B) schaltbares Mikro-Element (1,1',2,19,20,23,24) vorhanden ist, dessen Schaltteil
- ein mit dem Substrat (S) fest verbundenes erstes festes Ende,
 - ein mit dem Substrat (S) fest verbundenes zweites festes Ende und
 - einen zwischen diesen beiden festen Enden angeordneten beweglichen Teil
- beinhaltet,
- (d) welcher bewegliche Teil
- als gerader prismatische Körper ausgebildet ist und
 - lateral beweglich ist, und
- (e) dass die Grundfläche des den beweglichen Teil bildenden geraden prismatischen Körpers
- entweder
- in der Ausschaltposition (A') die Form eines symmetrischen Schwingungsbauches und
 - in der Einschaltposition (B') die Form eines asymmetrischen Schwingungsbauches aufweist
- oder
- zwei parallele kosinusförmige Linien beschreibt, welche in der Mitte zwischen ihren zwei Enden miteinander verbunden sind.

18. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass

der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) durch Schalten

des ersten Mikro-Elementes (1) von der Initialposition A in der Arbeitsposition A elastisch verformbar ist.

19. Mikro-elektromechanisches System gemäss Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass

(a) dass das mikro-elektromechanische System zwei fest mit dem Substrat verbundene Fixkontakte (17,18) aufweist, und

(b) dass der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) einen elektrisch leitfähigen Kontaktbereich (16) aufweist,

– welcher Kontaktbereich (16) im Bereich eines dem ersten festen Ende (10) des zweiten Mikro-Elementes (2) gegenüberliegenden Endes des zweiten Mikro-Elementes (2) angeordnet ist, und

– durch welchen Kontaktbereich (16) in der Ausschaltposition (A') des zweiten Mikro-Elementes (2) die beiden Fixkontakte (17,18) leitend miteinander verbunden sind.

20. Mikro-elektromechanisches System gemäss einem der Ansprüche 1 bis 9 oder 18 oder 19, wobei

(a) das Substrat (S) als flächig ausgedehnter Festkörper mit einer Hauptfläche ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet,

(b) dass der Schaltteil (5) des ersten Mikro-Elementes (1) horizontal beweglich ist, und

(c) dass der bewegliche Teil (11) des zweiten Mikro-Elementes (2) horizontal beweglich ist.

21. Verfahren zur Herstellung eines mikro-elektromechanischen Systems, in welchem Verfahren

(a) aus einem Substrat (S) ein erstes mit dem Substrat verbundenes Mikro-Element (1) erzeugt wird, und

- (b) aus einem Substrat ein zweites mit dem Substrat verbundenes Mikro-Element (2) erzeugt wird, und
- (c) unter Einsatz eines Strukturierungsverfahrens eine erste Fläche (3a) des ersten Mikro-Elementes (1) und eine zweite Fläche (4a) des zweiten Mikro-Elementes (2) geformt werden, welche Flächen (3a,4a) einander zugewandt und voneinander beabstandet sind, dadurch gekennzeichnet,
- (d) dass das erste Mikro-Element (1) derart geformt wird, dass
- es sich in einer Initialposition (A) befindet,
 - es bistabil von der Initialposition (A) in eine Arbeitsposition (B) schaltbar ist und
 - der Abstand der ersten Fläche (3a) von der zweiten Fläche (4a) in der Arbeitsposition (B) kleiner ist als ein durch das Strukturierungsverfahren erzeugbarer Minimalabstand zwischen der ersten Fläche (3a) und der zweiten Fläche (4a), und
- (e) dass nach Formung der ersten Fläche (3a) und der zweiten Fläche (4a) durch das Strukturierungsverfahren das erste Mikro-Element (1) in die Arbeitsposition (B) geschaltet wird.

22. Herstellungsverfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Umschalten des ersten Mikro-Elementes (1) in die Arbeitsposition (B) die erste Fläche (3a) des ersten Mikro-Elementes (1) mit einer ersten elektrisch leitenden oder elektrisch nichtleitenden Beschichtung (3b) versehen wird, und/oder die zweite Fläche (4a) des zweiten Mikro-Elementes (2) mit einer zweiten elektrisch leitenden oder elektrisch nichtleitenden Beschichtung (4b) versehen wird.

23. Herstellungsverfahren gemäss einem der Ansprüche 21 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass eines der mikro-elektromechanischen Systeme gemäss einem der Ansprüche 1 bis 20 hergestellt wird.

1 / 14

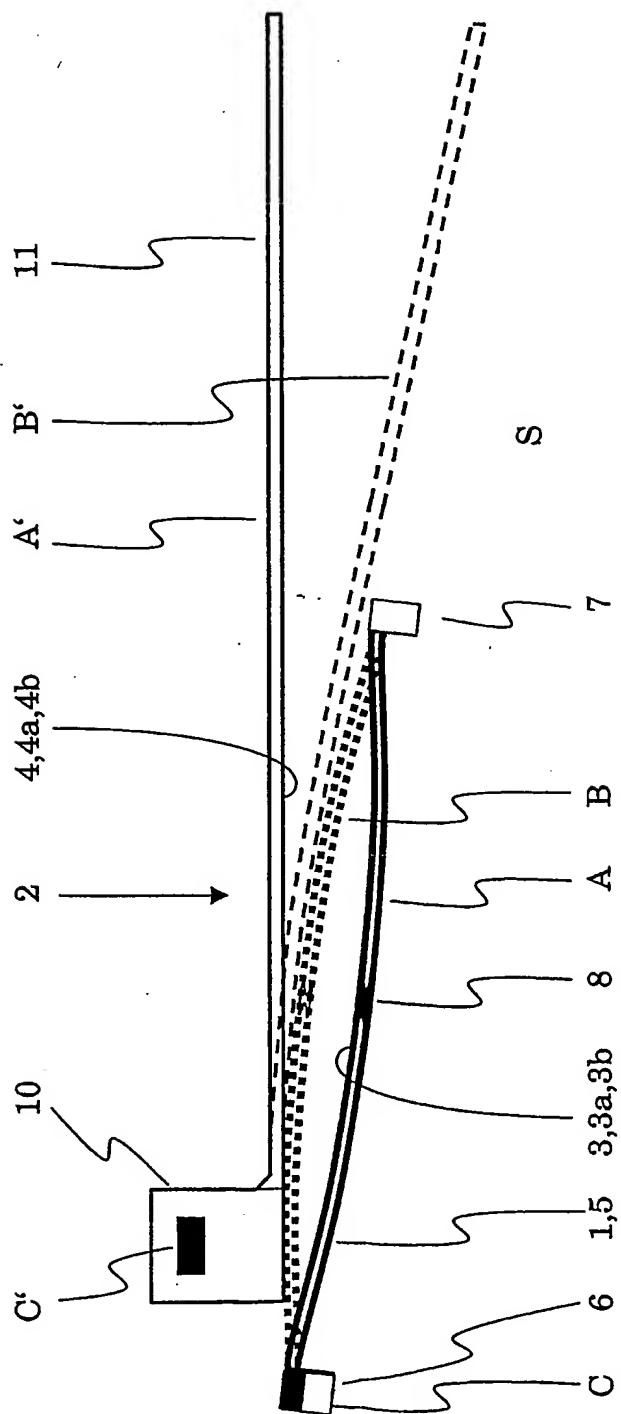


Fig. 1

2 / 14

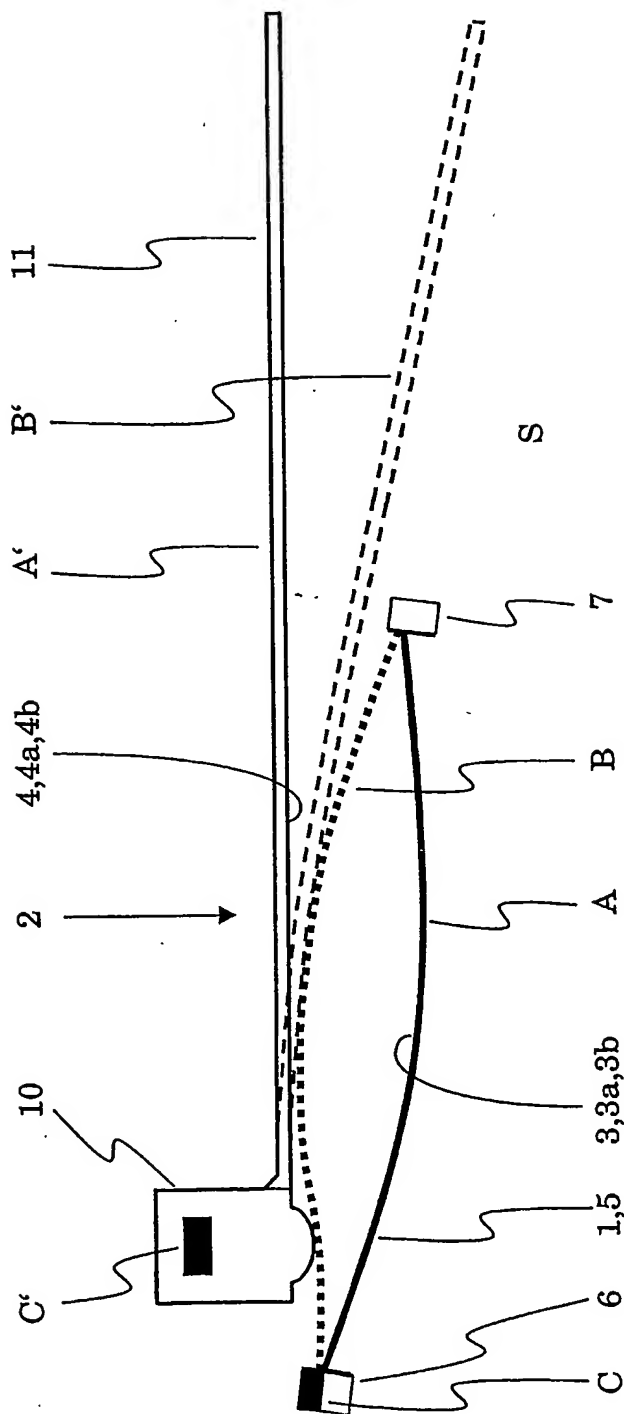


Fig. 2

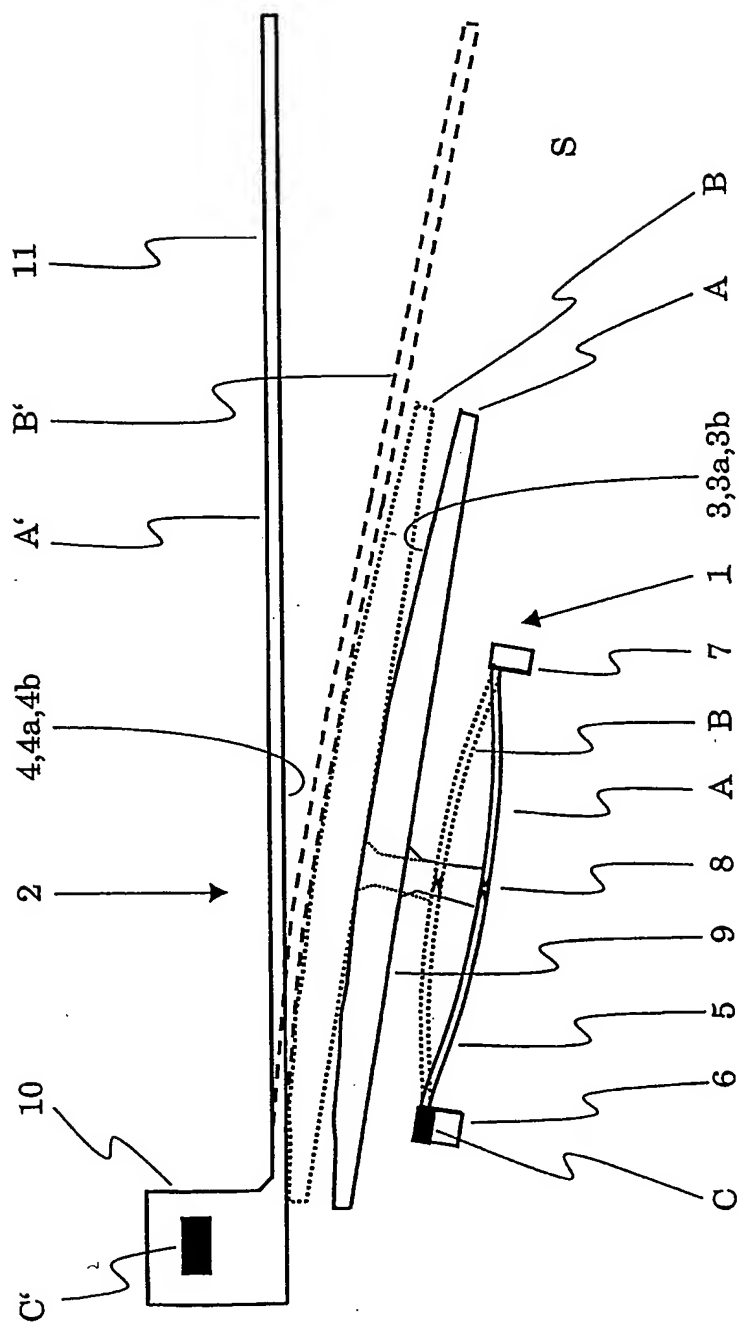


Fig. 3

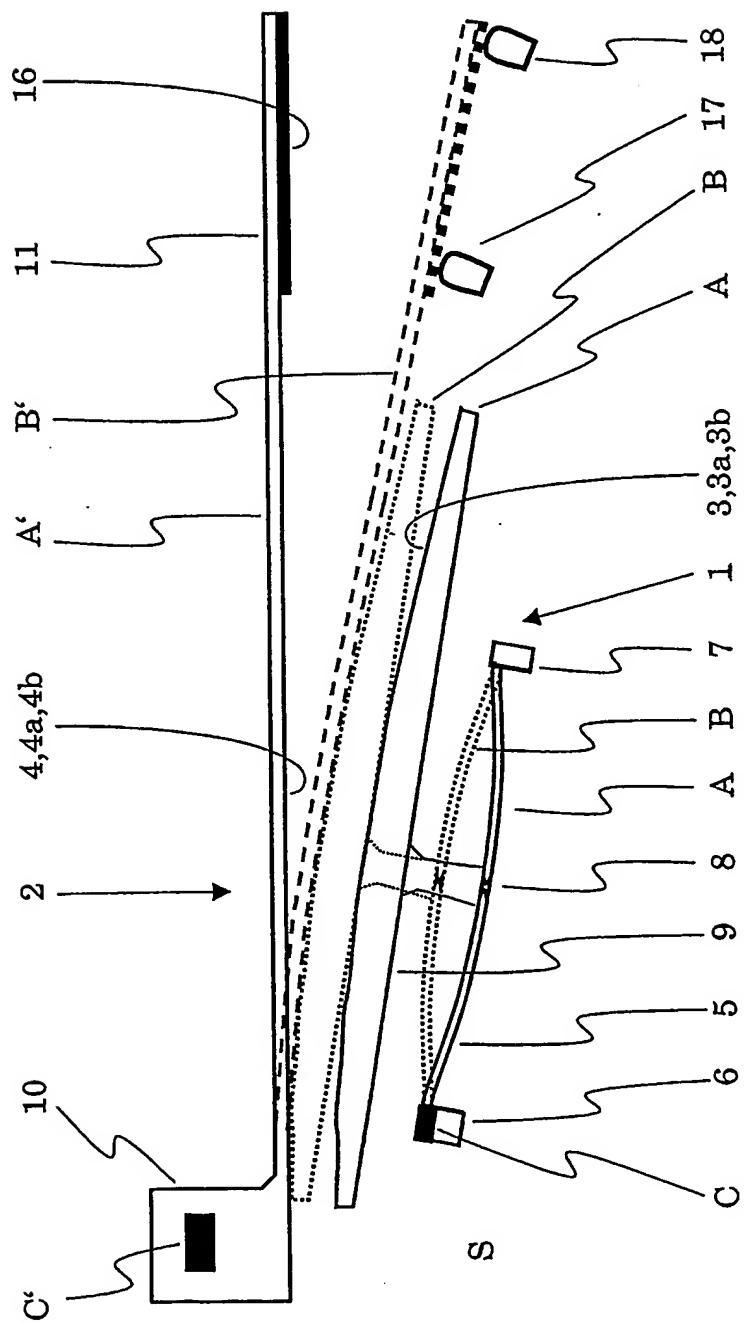


Fig. 4

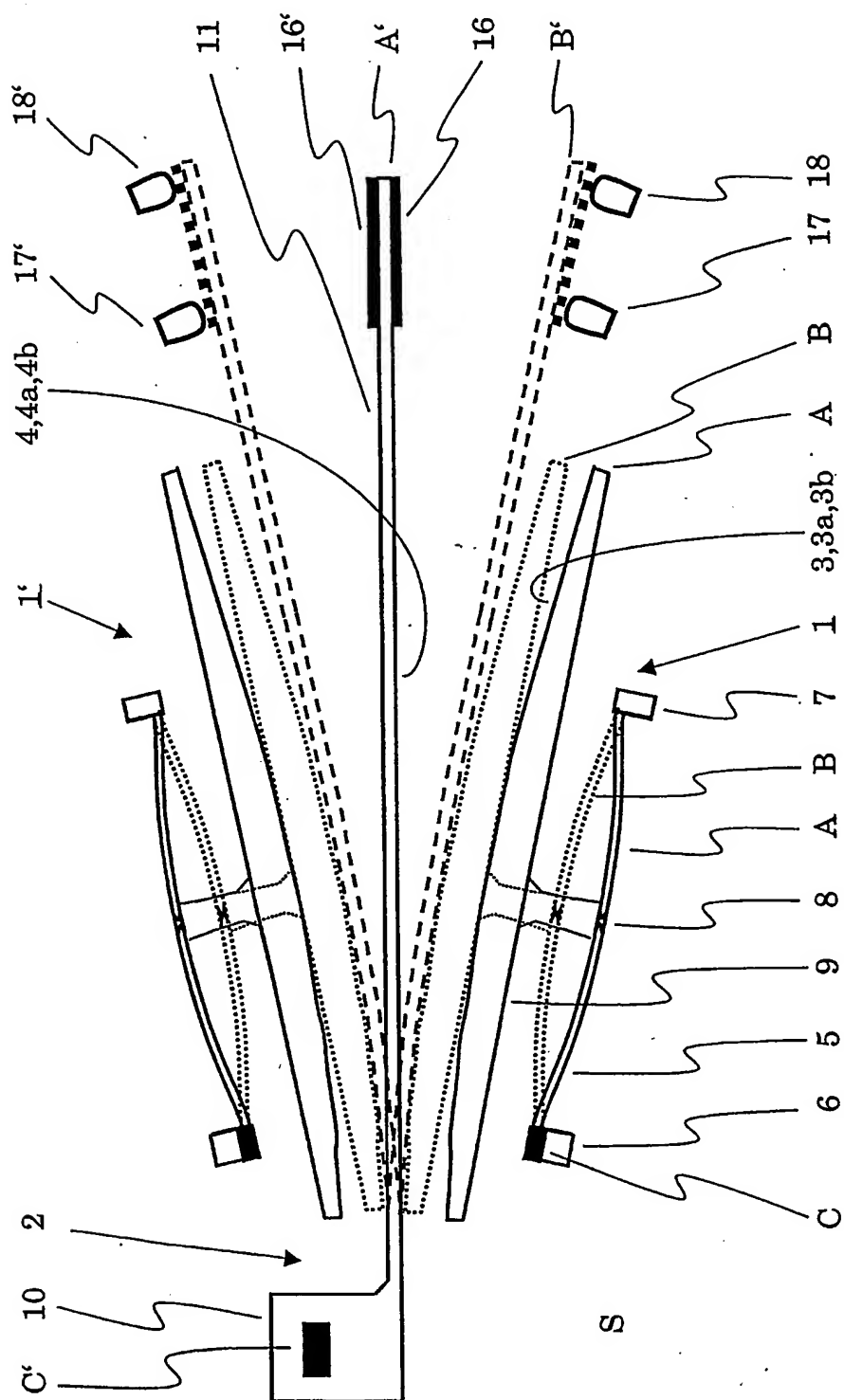


Fig. 5

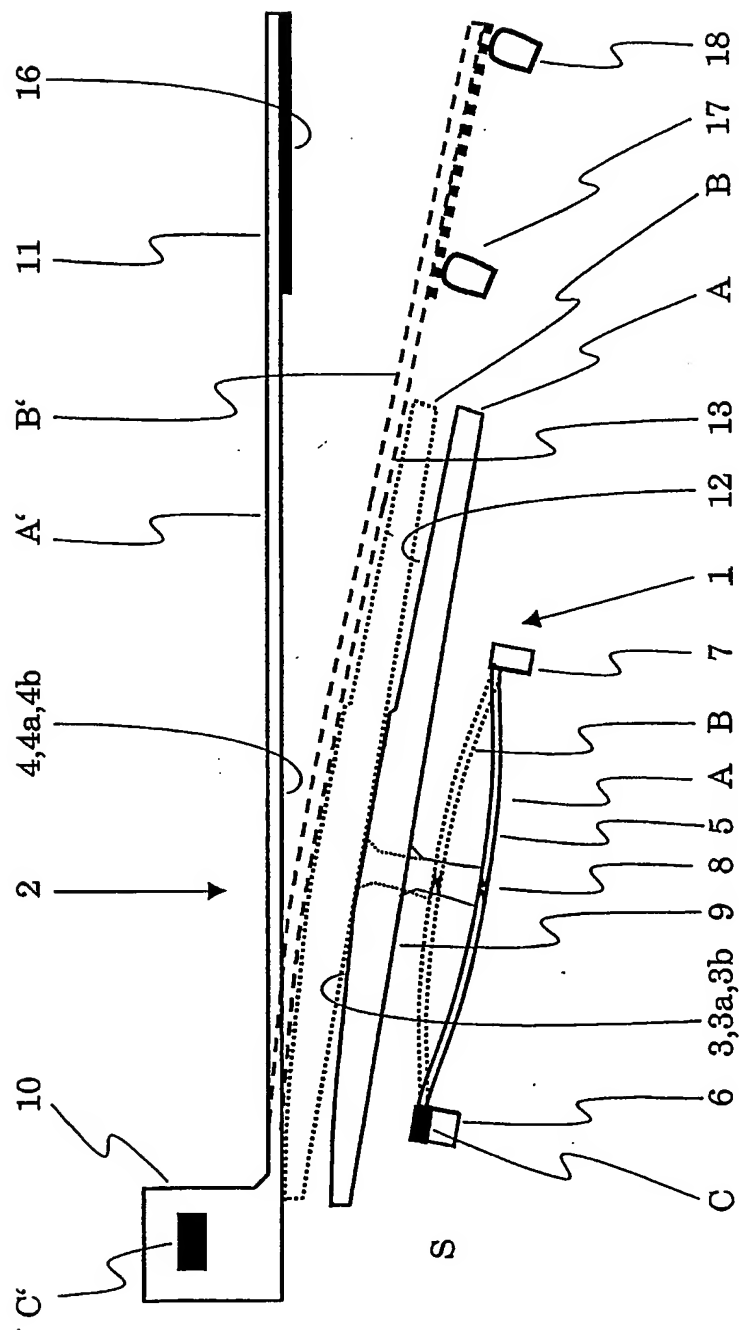


Fig. 6

7/14

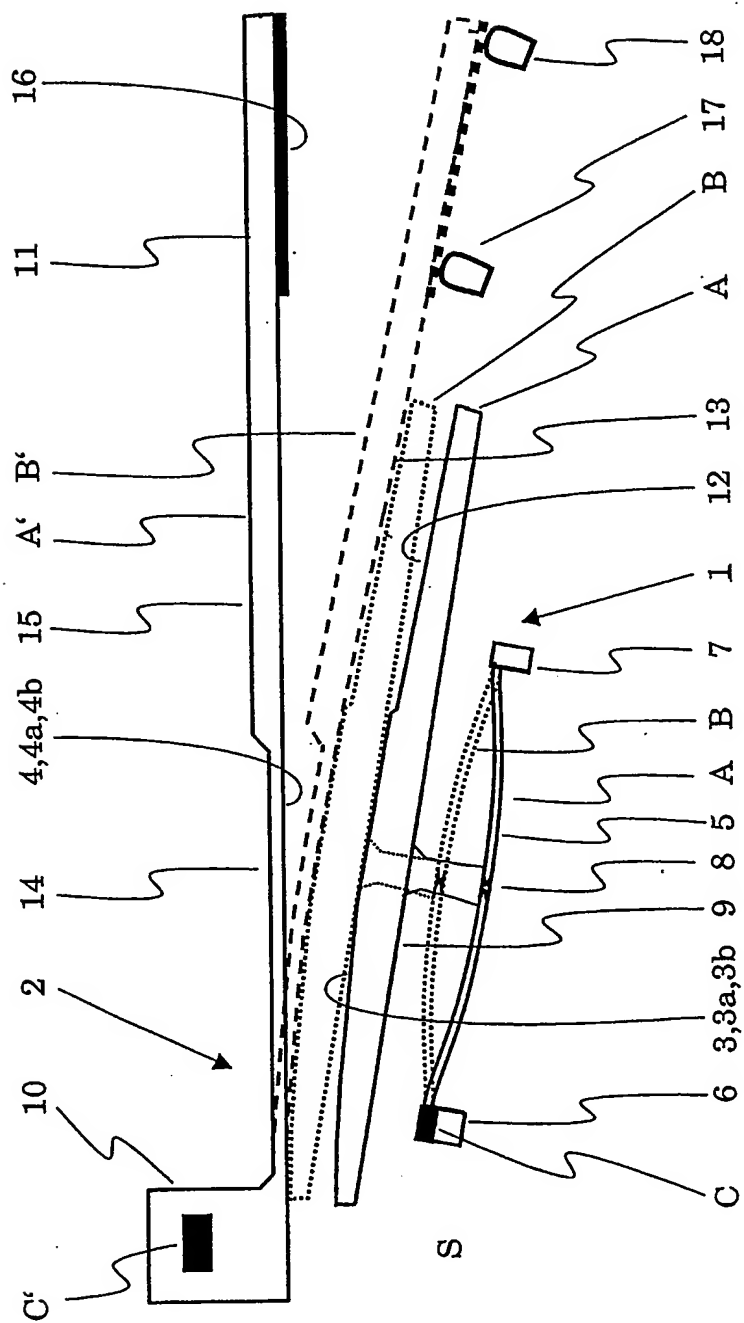


Fig. 7

8 / 14

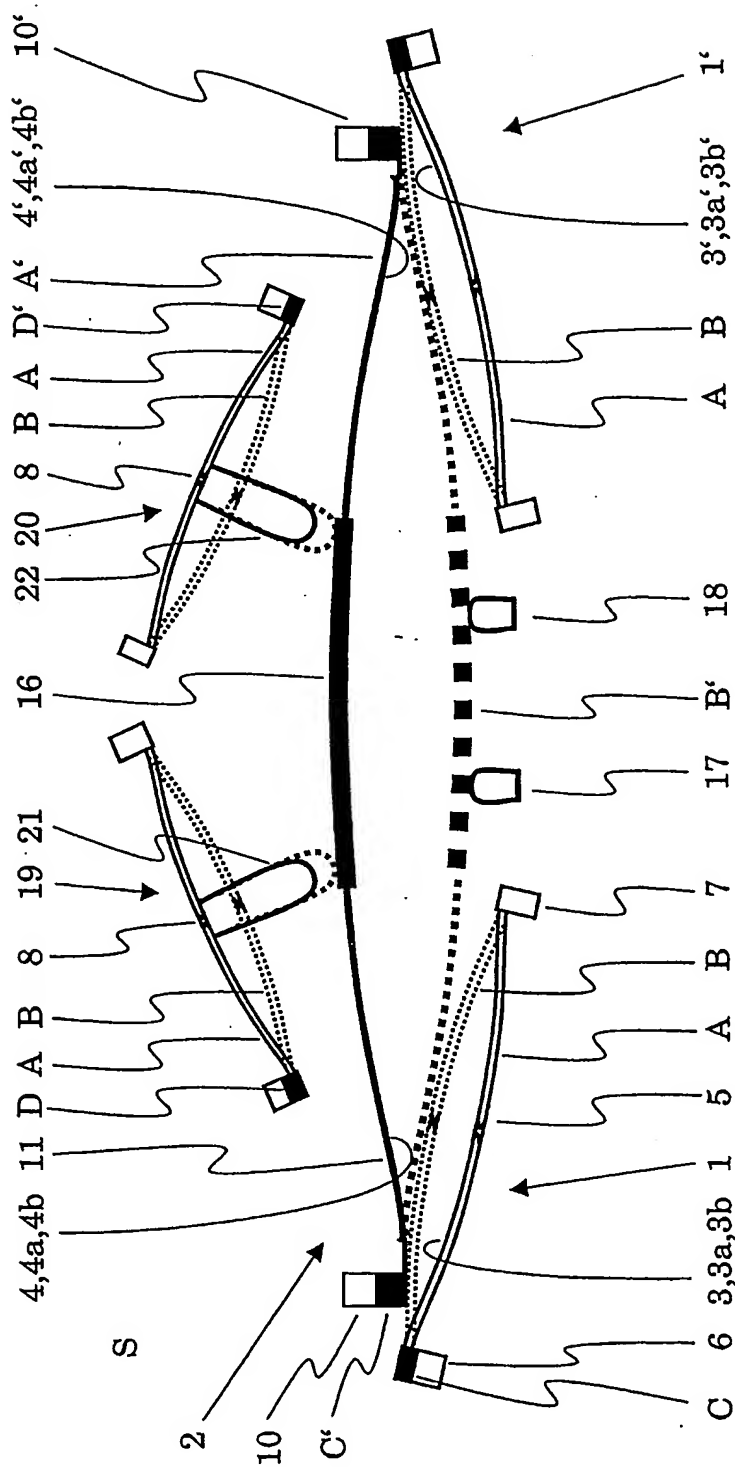


Fig. 8

9 / 14

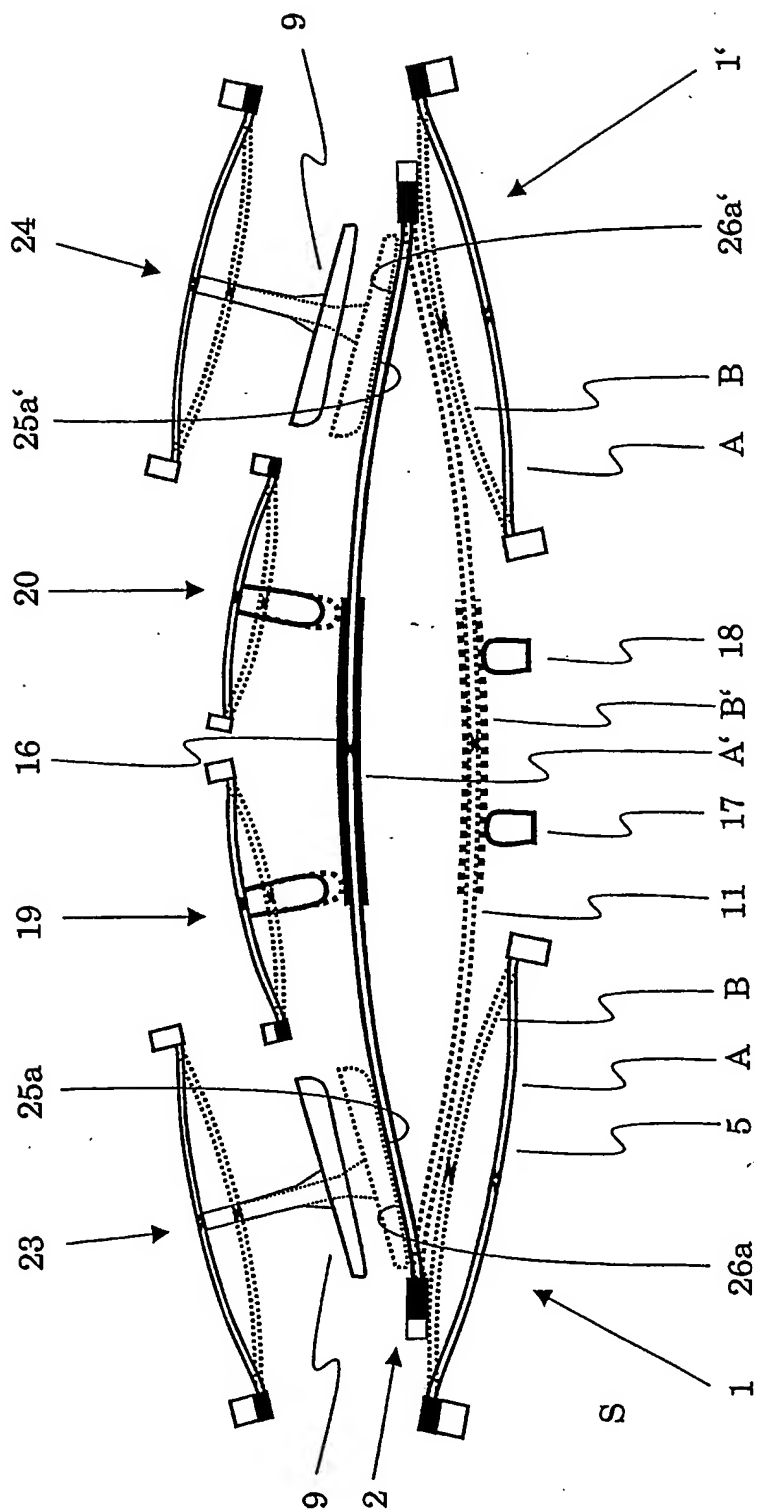


Fig. 9

10 / 14

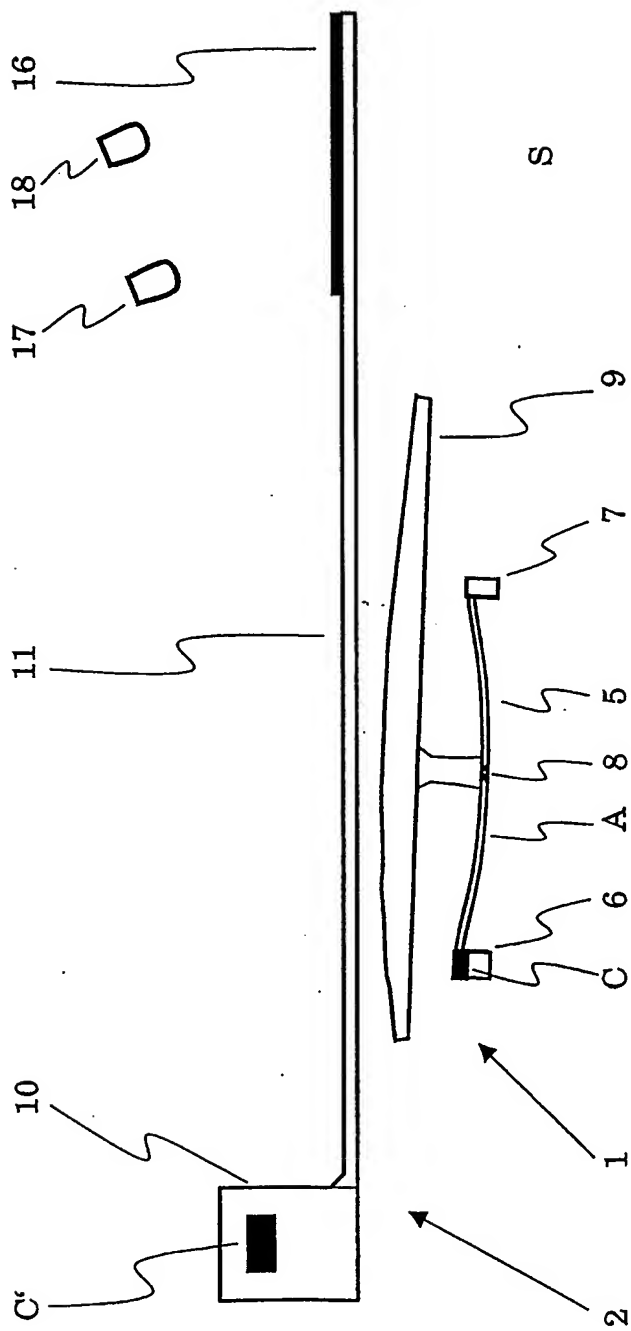


Fig. 10a

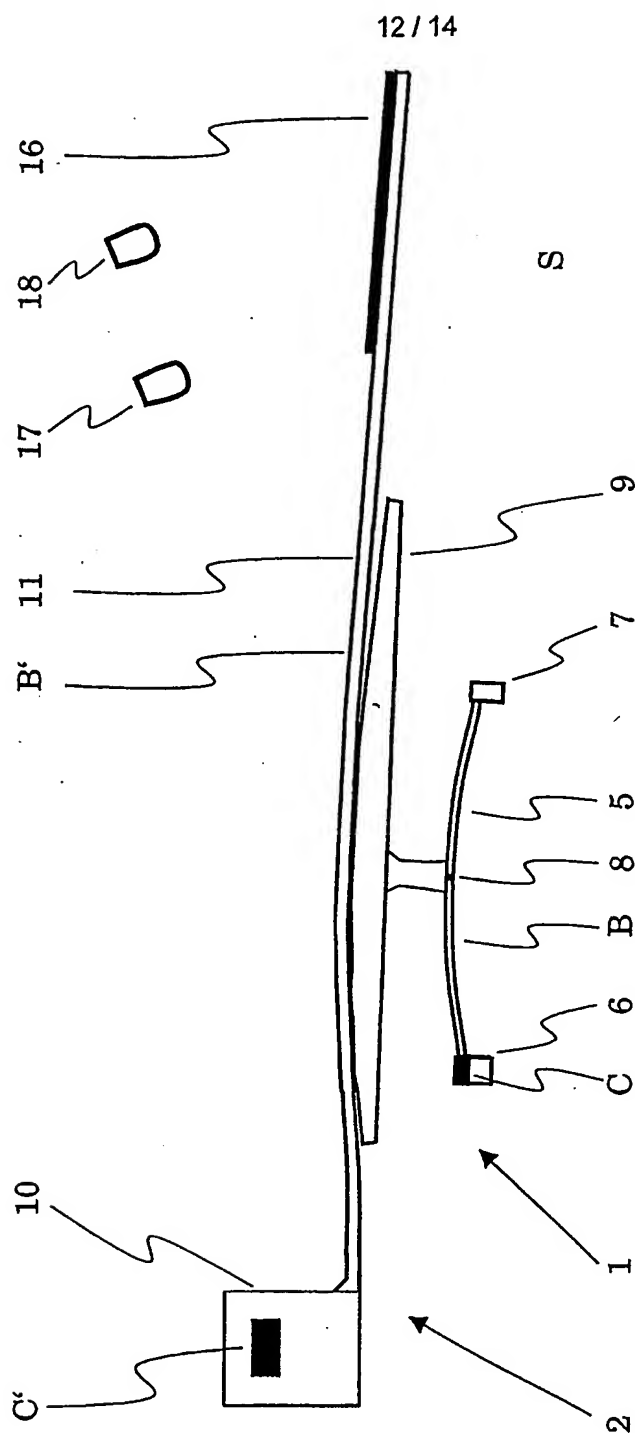


Fig. 10c

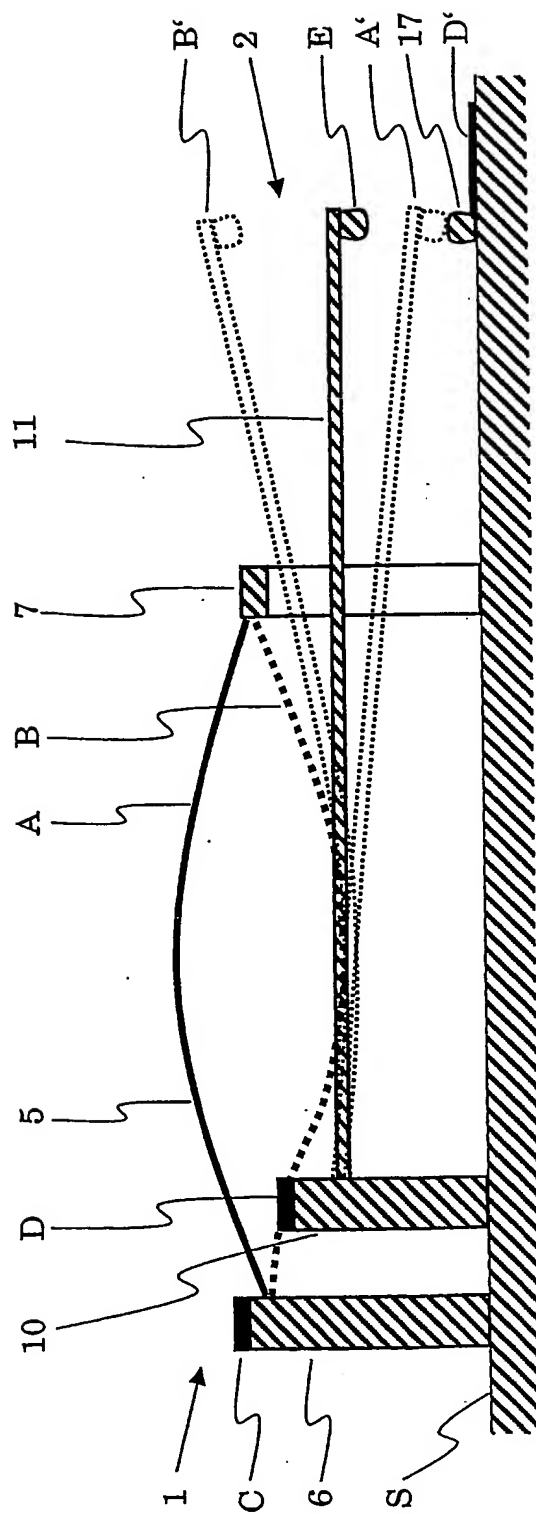


Fig. 11a

14 / 14

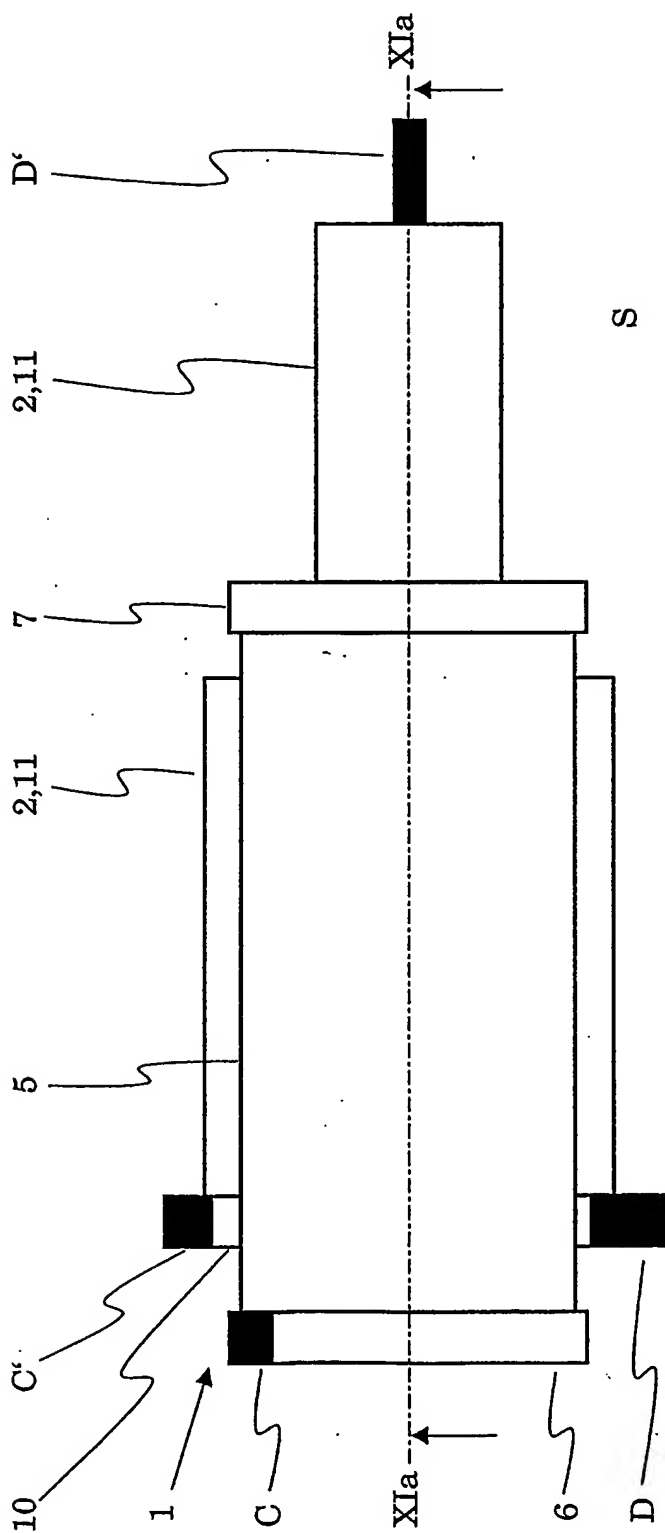


Fig. 11b